

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

**“DISEÑO DE MEJORA EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS PARA MEJORAR LA DISPOSICION FINAL EN UNA EMPRESA MINERA EN EL NORTE DEL PERU, 2020”**

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

**Autores:**

Orlando Castrejón Chalán

Alex Silva Silva

**Asesor:**

Ing. Ricardo Fernando Ortega Mestanza

Cajamarca - Perú

2021



## **DEDICATORIA**

Dedicamos el presente trabajo a nuestros padres, quienes nos han formado en valores y principios básicos; como la responsabilidad y el amor la familia y a la patria; y por ser quienes nos incentivan día a día a ser mejores personas, útiles para la sociedad; ellos que dan todo por nosotros y por el cumplimiento de nuestras metas, esos seres maravillosos que consideran a nuestros sueños como los suyos y que daría lo que fuera por vernos realizados completamente en todos los ámbitos de la vida.

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos de forma especial a Dios, quien nos dio la vida y nos ha acompañado durante el desarrollo del presente trabajo, siendo la fuente de nuestra sabiduría y quien derrama su Luz en nuestra inteligencia.

Agradecemos a nuestros padres por brindarnos el apoyo económico y moral para estar y concluir el periodo formativo en la Universidad Privada del Norte, y así poder enriquecer nuestros conocimientos y ser desde hoy y aún más en el futuro, hombres de bien y con visión de infinito.

Agradecemos a nuestro asesor, Ing. Ricardo Fernando Ortega Mestanza, por hacer de guía y maestro y al mismo tiempo por cedernos la oportunidad de hacer esta investigación y así tener una responsabilidad que nos conduzca a investigar, indagar y preocuparnos por ser excelentes profesionales.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>1</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
1.1. Realidad problemática.....	12
1.2. Formulación del problema .....	22
1.3. Objetivos .....	22
1.4. Hipótesis.....	23
<b>CAPÍTULO II. MÉTODO.....</b>	<b>24</b>
2.1. Diseño de investigación .....	24
2.2. Unidad de Análisis, Población y Muestra .....	24
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	25
2.4. Procedimiento de análisis de datos .....	31
2.5. Consideraciones éticas para la presente investigación .....	32
2.6. Matriz de Operacionalización de Variables.....	33
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>36</b>
3.1. Diagnóstico general del área de estudio .....	36
3.2. Cálculo de Indicadores –Variable Independiente – Antes de la mejora .....	52
3.3. Cálculo de Indicadores –Variable Dependiente – Antes de la mejora .....	66
3.4. Matriz de operacionalización de variables con resultados diagnóstico.....	73
3.5. Propuesta de mejora y los planteamientos.....	75
3.2. Cálculo de Indicadores –Variable Independiente – Luego de la mejora .....	82
3.3. Cálculo de Indicadores –Variable Dependiente- Luego de la mejora.....	96
3.6. Matriz de operacionalización de variables -Resultados diagnóstico y mejora	107
3.10. Análisis económico/financiero.....	108
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>116</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>128</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>130</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1: Técnicas de recolección de datos y análisis de datos. -----</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 2: Especificación de las técnicas e instrumentos de recolección de datos -----</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 3: Análisis de datos-----</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 4: Procesamiento de datos. -----</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 5: Matriz de Operalización de Variables -----</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 6: Matriz de Priorización de Problemas-----</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 7: Cuadro final que muestra la priorización de problemas-----</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 8: Guía de observación directa -----</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 9: Capacidad de planta-----</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 10: Cálculo de la capacidad de planta-----</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 11: Cálculo del diseño de planta normal y extendida -----</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 12: Funcionamiento diario y semanal de planta (En Horas y Minutos)-----</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 13: Listado de reportes semanales más comunes en planta-----</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 14: Resultados obtenidos para el cálculo de tiempo real de operación.-----</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 15: Consumo diario de Óxido de Calcio (Cal)-----</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 16: Consumo diario de Ácido Clorhídrico -----</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 17: Dosificación diaria de Floculante-----</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 18: Consumo diario de Floculante -----</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 19: Consumo diario total de reactivos -----</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 20: Parámetros fase Neutralización- Oxidación-----</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 21: Variables de Clarificación. -----</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 22: Secuencia de actividades del proceso de Tratamiento de Aguas Acidas-----</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 23: Cuadro de datos para el cálculo -----</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 24: Medición de entrada y salida de flujo diario-----</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 25: Cálculo de la cantidad de lodo evacuado diariamente por la planta -----</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 26: Capacidad de Planta Diseñada y Excedida-----</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 27: Caudal Máximo y Caudal de Emergencia-----</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 28: Volumen de aguas ácidas producidas por año-----</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 29: Límites Máximos Permisibles-----</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 30: Parámetros para la formación de aguas acidas -----</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 31: Análisis Químico DAM – EMH y límites de descarga -----</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 32: Toma de muestras en los distintos puntos del proceso. -----</b>	<b>72</b>

<b>Tabla 33: Resultados de metales totales y disueltos en comparación con la reglamentación DS-004-2017-MINAM.</b> -----	<b>73</b>
<b>Tabla 34: Resultados de análisis de muestras tratadas actualmente</b> -----	<b>74</b>
<b>Tabla 35: Matriz de Operalización de Variables 2 – Resultados del diagnóstico</b> -----	<b>76</b>
<b>Tabla 36: Diagrama de procesos para la PTAA luego de la mejora</b> -----	<b>84</b>
<b>Tabla 37: Capacidad de planta</b> -----	<b>93</b>
<b>Tabla 38: Cálculo de la capacidad de planta</b> -----	<b>93</b>
<b>Tabla 39: Funcionamiento diario y semanal de planta</b> -----	<b>94</b>
<b>Tabla 40: Listado de reportes semanales más comunes en planta</b> -----	<b>94</b>
<b>Tabla 41: Resultados obtenidos para el cálculo de tiempo real de operación.</b> -----	<b>95</b>
<b>Tabla 42: Consumo diario de Óxido de Calcio o Soda Caustica (Cal)</b> -----	<b>97</b>
<b>Tabla 43: Consumo diario de Ácido Clorhídrico</b> -----	<b>97</b>
<b>Tabla 44: Consumo diario de Floculante</b> -----	<b>97</b>
<b>Tabla 45: Consumo diario total de reactivos</b> -----	<b>98</b>
<b>Tabla 46: Secuencia de actividades del proceso de Tratamiento de Aguas Acidas</b> ----	<b>99</b>
<b>Tabla 47: Cuadro de datos para el cálculo</b> -----	<b>101</b>
<b>Tabla 48: Medición de entrada y salida de flujo diario</b> -----	<b>102</b>
<b>Tabla 49: Cálculo de la cantidad de lodos (kg) evacuado por la planta</b> -----	<b>102</b>
<b>Tabla 50: Capacidad de Planta Diseñada y Excedida</b> -----	<b>103</b>
<b>Tabla 51: Caudal Máximo y Caudal de Emergencia</b> -----	<b>103</b>
<b>Tabla 52: Proyección anual del aumento de caudal de aguas ácidas</b> -----	<b>104</b>
<b>Tabla 53: Toma de muestras en los distintos puntos del proceso.</b> -----	<b>105</b>
<b>Tabla 54: Resultados de metales totales y disueltos en comparación con la reglamentación DS-004-2017-MINAM.</b> -----	<b>107</b>
<b>Tabla 55: Resultados de análisis de muestras tratadas actualmente</b> -----	<b>108</b>
<b>Tabla 56: Matriz de Operalización de Variables 2 – Resultados diagnóstico y mejora</b> -----	<b>109</b>
<b>Tabla 57: Costos por procedimientos de ampliación de planta (equipos y herramientas)</b> -----	<b>112</b>
<b>Tabla 58: Costos por procedimientos de ampliación de planta</b> -----	<b>112</b>
<b>Tabla 59: Costos en capacitaciones anuales</b> -----	<b>113</b>
<b>Tabla 60: Costos por implementos</b> -----	<b>113</b>
<b>Tabla 61: Costo en material de registro</b> -----	<b>114</b>
<b>Tabla 62: Costos por incurrir en la propuesta de mejora</b> -----	<b>115</b>
<b>Tabla 63: Costos de reparación por mantenimiento correctivo</b> -----	<b>116</b>
<b>Tabla 64: Costos por no incurrir en la propuesta de mejora</b> -----	<b>117</b>

<b>Tabla 65: Flujo de caja neto-----</b>	<b>117</b>
<b>Tabla 66: VAN, TIR, IR -----</b>	<b>118</b>
<b>Tabla 67: Matriz de Consistencia -----</b>	<b>135</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1: Resumen de Sistema de pozas de aguas acidas que maneja la empresa ----</b>	<b>38</b>
<b>Figura 2: Flujograma de proceso de tratamiento de aguas acidas -----</b>	<b>39</b>
<b>Figura 3: Diagrama de Ishikawa -----</b>	<b>44</b>
<b>Figura 4: Propuesta de Solución -----</b>	<b>78</b>
<b>Figura 5: Propuesta de Solución – Ampliación de Planta -----</b>	<b>88</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1: Diagrama Pareto .....</b>	<b>43</b>
<b>Gráfico 2: Pregunta N° 1 .....</b>	<b>47</b>
<b>Gráfico 3: Pregunta N° 2 .....</b>	<b>47</b>
<b>Gráfico 4: Pregunta N° 3 .....</b>	<b>48</b>
<b>Gráfico 5: Pregunta N° 4 .....</b>	<b>48</b>
<b>Gráfico 6: Pregunta N° 5 .....</b>	<b>49</b>
<b>Gráfico 7: Pregunta N° 6 .....</b>	<b>49</b>
<b>Gráfico 8: Pregunta N° 7 .....</b>	<b>50</b>
<b>Gráfico 9: Pregunta N° 8 .....</b>	<b>50</b>
<b>Gráfico 10: Pregunta N° 9 .....</b>	<b>51</b>
<b>Gráfico 11: Pregunta N° 10 .....</b>	<b>51</b>
<b>Gráfico 12: Ilustración del flujo de aguas acidas tratadas hasta 2020 .....</b>	<b>68</b>
<b>Gráfico 13: Ilustración de la demanda proyectada .....</b>	<b>104</b>

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1: Potencial de hidrógeno .....</b>	<b>31</b>
<b>Ecuación 2: Capacidad de Planta .....</b>	<b>31</b>
<b>Ecuación 3: Tiempo Real de Operación (TRO).....</b>	<b>31</b>
<b>Ecuación 4: Consumo de Reactivos (CR) .....</b>	<b>31</b>
<b>Ecuación 5: Efectividad de procesos .....</b>	<b>31</b>
<b>Ecuación 6: Cálculo del Caudal (K).....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Ecuación 7: Eficacia .....</b>	<b>65</b>
<b>Ecuación 8: Eficiencia .....</b>	<b>65</b>

## RESUMEN

La presente investigación titulada “Diseño de mejora en el proceso de tratamiento de aguas acidas para mejorar la disposición final en una empresa minera en el norte del Perú, 2020; cuyo objetivo principal fue diseñar y mejorar el proceso de tratamiento de aguas acidas para mejorar la disposición final en el año 2020. En efecto, resultó de gran ayuda verificar los diversos procesos de la planta, pues de ellos depende en los resultados de la disposición final o vertimiento al medio ambiente, mejorando la esencia del agua y transformándola en un agua aceptable según los LMP para DAM. La tesis es aplicada a nivel descriptivo, explicativo y transversal, con diseño pre-experimental y emplea un método hipotético – deductivo. La investigación tiene como población los procesos de la PTAA para su análisis del antes y después. Las técnicas usadas para la recolección de datos fueron encuestas, entrevistas, información documentada y la observación directa. Concluyendo finalmente que se logró diseñar y mejorar el proceso de tratamiento de aguas acidas para mejorar la disposición final, a través del rediseño de procesos, uso de formatos de control y la ampliación de planta; obteniendo con ello la mejora de procesos, reactivos, equipos y aspectos de operación de planta.

**Palabras clave:** Procesos, Drenajes ácidos de mina, operación, Oxidación, Neutralización.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Desde tiempos muy antiguos el hombre prehistórico, en el neolítico, ya hacía uso de una minería tradicional y rudimentaria; etapa conocida como edad de los metales, muy distinta a la minería actual. Por tanto, como lo indica Pachón (2014) en su libro *Minería sostenible, el reto*; la minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad, ya que se sabe que desde tiempos de la prehistoria el hombre ha usado diversos minerales para la fabricación de herramientas y armas.

Todo ello con el pasar del tiempo, tras siglos de esta práctica, se convirtió en una importante industria, que ha creado una serie de técnicas, estudios y análisis físico-químicos con el objetivo de mejorar la exploración y explotación de los yacimientos, estos que por su parte son administrados por compañías o empresas mineras, las que son encargadas de llevar a cabo este tipo de industria, cuya competencia de la producción del mineral depende de la producción de mineral extraído y de la calidad y cantidad del mismo (Pérez & Betancur, 2016).

Para entenderla mejor, explica C. Almeida (2015), que la minería se divide en gran, mediana y pequeña minería, no obstante, en algunos países existe una cuarta categoría, la artesanal. Dependiendo del tipo de material a extraer, la minería se divide en metálica y no metálica, los métodos de explotación pueden ser a cielo abierto o subterráneo. Los factores que lo determinarán serán entre otros la geología y geometría del yacimiento y la característica geomecánica del mineral y el estéril

En la actualidad, la minería es una actividad económica del sector primario cuando nos referimos a la extracción de minerales, y del sector emergentico si hacemos referencia a la extracción de combustibles. Esta minería está representada por la explotación o extracción de los minerales que se han acumulado en el suelo y subsuelo en forma de yacimientos;

dependiendo del tipo de mineral a extraer la actividad se divide en minería metalúrgica (cobre, oro, plata, aluminio, plomo, hierro, mercurio, etc.) que son empleados como materias primas básicas para la fabricación de una variedad de productos industriales. Como efecto negativo de esta explotación de dichos recursos, el mundo ha experimentado catástrofes medioambientales deprimentes y daños irreversibles, sobre todo en el agua (Díaz, 2014).

Ahora bien, en lo que respecta a los daños que a la larga trae consigo la minería, están los daños al aire, al agua y a la naturaleza misma, todo ello mediante el uso de químicos, movimiento de tierras, uso de gran cantidad de agua para sus procesos y generación de residuos mineros peligrosos y relaves, tal como es el caso de la generación de aguas acidas como resultado del movimiento de tierras y re direccionamiento de aguas, las cuales contienen un alto contenido de metales diversos, que resultan nocivos para el desarrollo de la vida humana, silvestre y vegetal; elementos que dependen del agua. Dichos problemas se han generado en relación a la falta de responsabilidad y compromiso social y ambiental por parte de las empresas a cargo de la explotación de los recursos naturales, quienes no han tratado las aguas que discurren por sus áreas de operación o simplemente han hecho una “payasada” ambiental con procedimientos económicos o sin criterio para reducir o minimizar los efectos negativos de las aguas acidas sobre el medio ambiente, no respetando o sobrepasando los LMP establecidos por la legislación peruana; es decir con un agua encontrada en el área con pH de 4.5 y con niveles de metales por encima los 5 ppm.

Un estudio en España respecto a esto, señala que el agua es ácida cuando su  $\text{pH} < 7$ . No obstante, ello no exige que deje de ser potable o resulte nociva hasta alcanzar niveles bastante inferiores (por ejemplo, deja de ser potable para  $\text{pH} < 5.5$ ). A no ser por causas antrópicas, resultan muy raros de encontrar  $\text{pH} < 3.5$  ó  $\text{pH} > 10.5$ , existiendo una tendencia natural a su neutralización (por saturación, precipitación, dilución, etc.), resultando ser estas anomalías las más agresivas (Rubio & Serrano, 2018).

Además, continúan Rubio y Serrano, la solubilidad de rocas y minerales, se ve fuertemente afectada por el pH del medio, de forma que, un agua ácida suele, además de ser nociva por su pH, ir acompañada de numerosos metales en disolución, que aportan una importante toxicidad al efluente. Las aguas ácidas se pueden formar tanto en el interior como en la superficie, por oxidación de la pirita ( $\text{FeS}_2$  u otros sulfuros) en presencia de humedad, expuesta a las condiciones atmosféricas, pudiendo acceder al sistema hidráulico subterráneo, contaminando acuíferos, o surgir como efluentes que vierten en cursos de agua superficial.

En Sudamérica, y específicamente en países como Ecuador y Colombia, desde el siglo XVI se ha venido desarrollando la minería metálica, las viejas prácticas mineras y el manejo inadecuado de los residuos, sumados a la inexistencia de normas precisas que regulen el cierre de minas, ha generado la acumulación de pasivos ambientales, que contaminan los recursos naturales, cuyos usos pueden poner en riesgo la salud pública y del ambiente. En la actualidad, las posibilidades de un desarrollo minero a escala industrial plantean serios retos a los países, pues si bien podría existir un importante potencial minero, al mismo tiempo su extracción significaría una alta conflictividad social, ambiental, económica y política (Almeida, 2015)

En el noroeste argentino existen explotaciones mineras subterráneas de sulfuros primarios abandonadas hace alrededor de veinte años sin un adecuado cierre de mina, constituyendo pasivos ambientales mineros. Las minas cesaron su actividad a mediados de la década del '80 por la disminución en el precio y en la rentabilidad de los metales. Los diques de colas y escombreras abandonados poseen minerales sulfurados (incluyendo pirita) y están expuestos a la intemperie, convirtiéndolos en fuentes generadoras de DAM (Drenajes Ácidos de Mina). Estas minas y el volumen de sus desechos mineros son pequeños al comparar las dimensiones y volúmenes que maneja la minería actual, sin embargo, los

estudios realizados indican un fuerte impacto negativo en el ambiente circundante generado por estos drenajes. (Kirschbaum et al, 2015, p. 128).

En el Perú, a lo largo de la historia, la minería ha sido una actividad fundamental para el desarrollo económico del país; sin embargo, su función ha ido variando al mismo tiempo que su importancia. En las épocas Pre-Inca e Inca, por ejemplo, los metales preciosos eran usados por la élite política y religiosa, pero no formaban parte de los tributos que se debían pagar a los Gobiernos. Tras la conquista, la minería se convirtió en el gran soporte económico del virreinato; pues, entre los siglos XVI y XVII se acumularon grandes cantidades de oro y plata, constituyendo la fuente de riqueza de la corona española. A pesar de ello, la actividad minera se detuvo durante el proceso de emancipación, para resurgir más adelante luego de la instauración de la República. En la actualidad, la minería es la columna vertebral de la economía del Perú, en el que ha logrado un sitio importante en la producción minera mundial, ubicándose entre los primeros países productores de plata, cobre, zinc, estaño, plomo y oro (Cáceres, 2016).

Si abordamos la minería y sus efectos negativos en el Perú, durante mucho tiempo las leyes han permitido la degradación y destrucción del medio ambiente, mediante leyes que favorecían a las compañías mineras; luego con el pasar de los tiempos se ha concientizado a esas empresas sobre el cuidado del medio ambiente, y sobre todo del agua como un elemento esencial tanto para plantas, animales e incluso para el mismo hombre.

En relación a ese recurso esencial, se han encontrado estudios que afirman que el segundo problema ambiental del Perú es el tema de Pasivos Ambientales Mineros (PAM) en muchas regiones del país, estos generados producto de la minería sin fiscalización establecida años atrás; mientras que el Drenaje Ácido de la Minería (DAM) es el mayor y principal problema ambiental provocado por la industria minera y es también su mayor pasivo, especialmente para nuestras corrientes de agua. Una mina generadora de ácido tiene

el potencial para causar un impacto devastador a largo plazo en los ríos, arroyos y vida acuática, volviéndose en efecto, una "máquina de contaminación perpetua". (Díaz, 2014).

En lo que respecta a los antecedentes al tratamiento de aguas en el Perú, existen investigaciones que anteceden a la presente, por ejemplo la tesis de Jonathan y Quispe, quienes en su tesis titulada *Diseño y operatividad de la planta de neutralización de aguas ácidas de mina Paragsha Cerro de Pasco en minera Volcán S.A.A.*, presentado a la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Agustín concluye que: El proceso comienza con la entrada del agua ácida a la planta, a través de un canal donde se mide el caudal y el pH, pasa seguidamente a las cubas de neutralización donde se adiciona la lechada de cal hasta alcanzar un valor del pH entre 10 y 10,5; con el que se consigue que se formen los hidróxidos de hierro y manganeso. Estas cubas disponen de unos agitadores que garantizan una mezcla homogénea, transcurrido cierto tiempo, concretizando así el tratamiento integral de aguas ácidas (Jonathan, 2018).

Otro antecedente a esta investigación es la tesis de Montalvo, (Montalvo, 2016), titulada *Evaluación y propuesta de mitigación del drenaje generado por los pasivos ambientales mineros de San Antonio de Esquilache - Puno*, presentado a la Coordinación de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano, concluye que: Las aguas ácidas son drenados por los pasivos ambientales mineros de San Antonio de Esquilache (bocaminas) efluentes al río San Antonio de Esquilache, hoy en día se constituye una fuente potencial de contaminación por la elevada acidez (pH de 3,66) y la alta concentración de metales pesados (Fe, Cr, Cu y Ni); donde sobre pasan los Límites Máximos Permisibles de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA). Ante ello, plantea ciertas técnicas de control y sistemas de ingeniería, como uso de plantas de tratamiento, uso de químicos, y sobre todo pozas de control y sedimentación de metales, todo ello para mitigar los efectos nocivos y contaminantes que traen consigo las aguas ácidas.

En el departamento de Puno, una investigación presentada por W. Mamani sobre efluentes de aguas acidas, ilustra un modelo de tratamiento activo que requiere una operación, mantenimiento y monitoreo continuo y utilizan para su funcionamiento energía externa (energía eléctrica) y reactivos. Este tipo de tratamiento es mayormente utilizado en minas operativas y su ventaja principal radica en que puede ser aplicado para tratar grandes caudales y cualquier tipo de acidez, siendo además adaptable a cambios en la química del agua que pudiera darse durante el avance del minado (Montesinos, 2017, p. 22).

Si bien este tipo de tratamiento no requiere de grandes áreas para su infraestructura, su costo de inversión es elevado pues implica el montaje de una planta de tratamiento químico con diversos equipos como tanques, clarificadores, bombas entre otros. Así mismo, por ser de operación continua, su costo operativo considerará la adición rutinaria de reactivos requiriendo el monitoreo permanente del personal (Mamani, 2018).

Ahora bien, Cajamarca ha sobresalido siempre por ser una región rica en recursos naturales, sobre todo en minerales, es por ello que, en su territorio regional, operan un gran número de compañías mineras que explotan minerales diversos en varias partes de la región, usando grandes cantidades de agua para sus procesos. Justamente por ser la minería una actividad que requiere agua en la mayoría de las etapas de su producción, pero específicamente en la etapa de beneficio, donde el agua se utiliza para facilitar la molienda de la roca y en los tanques de flotación para separar el mineral con los reactivos de flotación en medio acuoso. Por ello, esta actividad es cuestionada debido a la utilización de grandes volúmenes de agua, en especial en regiones con escasos recursos hídricos donde la competencia por el uso del agua entre la agricultura y la minería es fuerte.

En general en esta región, las minas se encuentran en zonas altas de cabecera de cuenca, lo que implica riesgos de contaminación del recurso hídrico y su inutilización para las poblaciones que dependen del mismo. Ahora bien, respecto a la generación de aguas

acidaz Está directamente relacionada a los depósitos de sulfuros y de carbón, ya que ellos poseen minerales metalíferos que en contacto con las condiciones atmosféricas generan acidez en el agua natural, denominado drenaje ácido. Este proceso se da cuando los sulfuros toman contacto con el agua y el oxígeno, alterándose y liberando los elementos que los componen; estos elementos interactúan con las moléculas de agua (H<sub>2</sub>O) produciendo su ruptura y la liberación de protones (H<sup>+</sup>), que una vez en el agua son los que producen la acidez (Kirschbaum et al 2011).

La empresa minera Yanacocha en lo que concierne a tratamiento de aguas ácidas (presentes en forma natural en las aguas subterráneas y superficiales de las zonas de Jalca) utiliza reactivos tales como la cal, que permite neutralizarlas y tratarlas adecuadamente. Esto tiene que ver con el pH, que es una unidad de medida de la acidez de los líquidos. La legislación ambiental vigente establece que el pH adecuado para cualquier uso debe estar entre 6 y 9 unidades; valores menores a este rango son considerados aguas ácidas. Al neutralizar el agua por efecto de los reactivos, el pH llega a fluctuar dentro del rango indicado y, con la ayuda de sustancias floculantes y coagulantes, se separa los metales y demás partículas que afectan la calidad del agua; así el líquido es devuelto al medio ambiente en las condiciones adecuadas (Yanacocha, 2006)

Actualmente, en Minera Sipán, ubicada en el distrito de Llapa, perteneciente a la provincia de San Miguel en Cajamarca, como proyecto de cierre de mina emplea cal en los tratamientos, generándose lodos, producto de reacción química incompleta, lodos sedimentables de alto valor en pH, generando problemas de almacenamiento y disposición final. Sin embargo, en el presente trabajo se buscó encontrar otra alternativa al empleo de cal. Donde se empleó NaOH – Almidón, en el tratamiento, sin generar lodos sedimentables. Para ello se empleó diferente toma de muestras de aguas ácidas, procedentes en Cía. Minera Sipan, (PAD de lixiviación, Planta Baja, botadero y ojos). Sometiéndolas a tratamientos

activos en sistemas previamente contruidos. Donde, se comparó, la acción ejercida por el NaOH – Almidón para un sistema de tratamiento; otra acción ejercida con el empleo único de NaOH, y un sistema donde se empleó cal (parámetro comparativo). Encontrándose que Existe dependencia directa entre la concentración de la acidez y el volumen de la muestra, para los cambios de pH, en proporción a la concentración de cal o de NaOH al 98%, a emplear (López, 2013).

Respecto a la contaminación de las aguas como consecuencia de los pasivos ambientales, tenemos el caso del Distrito de Hualgayoc (Herrera, 2013); en el que los pasivos ambientales mineros (PAM) son un enorme problema en el Perú, tanto que son una de las causas principales de los conflictos sociales que se dan en los centros mineros. Hualgayoc es, al respecto, un ejemplo muy ilustrativo. Aquí se explota minerales desde 1772 hasta el momento actual (2013). En ese largo período se acumuló grandes cantidades de relaves y otros PAM que hasta el presente no pueden ser remediados.

Con la llegada de la gran minería a tajo abierto (Gold Fields) los problemas ambientales se incrementarán y darán paso a nuevos conflictos sociales. El contenido del trabajo se concentra en: referencia histórica de Hualgayoc; pasivos ambientales de esta provincia; una breve cronología de algunos hechos significativos; la planta de procesamiento de agua en la quebrada de El Sinchao; el Dorado y la Tahona; Cerro Corona (Gold Fields). El trabajo termina señalando las dificultades para remediar los PAM de Hualgayoc. Para la realización del trabajo fue necesario visitar el lugar, observar sus características principales, hacer algunas entrevistas, etc. La técnica de análisis documental es fundamental en esta investigación que trata de probar la relación que hay entre la presencia de PAM y los conflictos sociales (Herrera, 2013 p. 265).

Por otro lado, en el lugar donde estamos realizando la investigación, los procesos tratamiento de agua acida o agua de contacto son muy importantes, porque de ello depende

su buena disposición final, enviando agua de calidad que servirá en el recorrido de su caudal para la irrigación de sembríos, campos y para el ganado. Esa agua ácida de mina es generada por el contacto de las aguas de lluvia sobre los depósitos minerales del tajo y los drenajes de los diferentes depósitos de material estéril, inadecuado y material orgánico que se encuentran dentro de mina; son colectadas en pozas y derivadas para su tratamiento. Con la ampliación de las operaciones el volumen de drenaje ácido de mina (DAM) ha ido aumentando; y en época de lluvias los volúmenes de DAM son mucho mayores, por ello la capacidad de la planta es insuficiente para la demanda de tratamiento. Así mismo, la concentración de los metales como Al, Mn y el pH del DAM han aumentado y el proceso de tratamiento actual LDS (Low Density Sludge) ya no es efectivo, poniendo en riesgo el cumplimiento de los Límites Máximos Permisible (LMP) y Estándares de Calidad Ambiental (ECA) según legislación ambiental peruana. Por ello, Choque Gonza (2020), en su tesis plantea la ampliación de la PTAA en esta empresa minera (Gonza, 2020 p. 10).

En lo que concierne a tratamiento de aguas cianuradas o efluentes dentro de las instalaciones de la empresa, estas luego del proceso de re direccionamiento (Aguas cianuradas con las que son irrigadas las zonas del PAD, de estas zonas de depósito de material con mineral de alta ley, discurren las aguas arrastrando los metales a una poza de solución rica, la cual es bombeada hacia las columnas de carbón para su respectivo proceso de extracción del oro y la plata en carbón activado) y todo el proceso de extracción de los metales, pasan a unas pozas, parte de esa agua es tratada y parte va al PAD, pero este tratamiento presenta deficiencias en su disposición final, es por ello que una investigación realizada por Enrique Mego, ilustra dicho proceso y cómo se podrían mejorar luego de evaluar la eficiencia de remoción de cianuro y metales pesados mediante la utilización de los métodos combinados de oxidación química con peróxido de hidrógeno y ósmosis inversa en el tratamiento de efluentes de la Planta de Procesos Metalúrgicos y su comparación con

los Límites Máximos Permisibles establecidos por la normatividad ambiental vigente. Para determinar la eficiencia de remoción, la solución barren proveniente de la Planta de Procesos, luego de recuperar los elementos valiosos de oro y plata, se trató en la planta existente, de oxidación química con peróxido de hidrógeno, que después constituyó la solución de alimentación para la prueba piloto de ósmosis inversa (Mego, 2016 p. 17).

Actualmente esta empresa minera ha adoptado ciertas medidas de control y está muy atenta ante cualquier eventualidad medioambiental, es por ello que se respetan los límites máximos permitidos en el marco del control de residuos peligrosos, aguas acidas, aguas cianuradas y aguas residuales. Justamente en relación a ello, la empresa minera en la que estamos analizando los procesos de tratamiento, cuenta con procesos y plantas diversas, en dos sectores dentro del proceso, pues cuenta con plantas para tratamiento de aguas acidas, Plantas para tratamiento de aguas cianuradas o de efluentes mineros, Plantas para aguas residuales y Plantas para tratamiento de aguas crudas. Todas estas plantas sirven para arrojar al medio ambiente un agua de mejor calidad, respetando los LMP (Referido a aguas cianuradas, acidas y residuales) y dotar a los trabajadores de una mejor calidad de agua premiada (Referido a aguas crudas convertidas en potables).

En general, la entidad en estudio, dentro de todas las plantas y procesos de tratamiento de agua que realiza, sea de la clase que sea, pasa por una serie de procesos, pozas, plantas (en las que se les inserta químicos para subir el PH y precipitar los metales en el caso de las aguas acidas y cianuradas) y etapas que van dando una mejor característica al agua, buscando que esta sea lo más parecida posible al agua encontrada en su estado natural puro y permisible. Es por ello que las plantas de tratamiento tienen un rol importantísimo, pues de su operación depende el resultado final y una buena disposición hacia el medio ambiente. Pero en este proceso también inciden la calidad de los químicos que se usan para su tratamiento y el conocimiento de quienes operan estas plantas, de ello dependerá que las

plantas sigan su tratamiento normal y continuo y que el resultado del proceso sea efectivo también. Con todo ello la empresa minera busca reducir los efectos contaminantes de sus actividades y aporta responsablemente al respeto a la comunidad y al medio ambiente que incluye todo un hábitat diverso.

La importancia de la esta investigación radica en el reconocimiento, evaluación y rediseño de procesos de tratamiento de aguas acidas, para una mejor disposición final y su aprovechamiento positivo luego del pos tratamiento. Pues como sabemos, los minerales en su estado natural permanecen en la corteza terrestre hasta que son descubiertos, al extraerlos se modifican las condiciones naturales y esto produce impactos ambientales negativos entre los cuales está la generación de aguas ácidas en determinados yacimientos mineros; ello a través del avance de los tajos y el incremento de depósitos de desmontes que generan drenajes de aguas acidas. Por tanto, la importancia de esta investigación radica en mostrar las directrices de cómo deber ser el tratamiento de aguas acidas, de la mano de los LMP y las herramientas y materiales que se usan en las plantas de este tipo.

## **1.2. Formulación del problema**

¿En qué medida se logrará diseñar y mejorar el proceso de tratamiento de aguas acidas para la disposición final en una empresa minera en el norte del Perú, 2020?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar y mejorar el proceso de tratamiento de aguas acidas para mejorar la disposición final en una empresa minera en el norte del Perú, 2020.

### **1.3.2. Objetivo específicos**

- Analizar la situación actual, diseño y funcionamiento del proceso de tratamiento de aguas acidas para mejorar la disposición final en una empresa minera en el norte del Perú.
- Diseñar la propuesta de mejora para verificar el proceso de tratamiento de aguas acidas para mejorar la disposición final en una empresa minera en el norte del Perú.
- Realizar un análisis económico/financiero para evaluar la viabilidad del diseño de procesos de mejora.

#### **1.4. Hipótesis**

Con el diseño se logrará ciertas mejoras en el proceso de tratamiento de aguas acidas para la disposición final en una empresa minera en el norte del Perú, 2020.

## **CAPÍTULO II. MÉTODO**

### **2.1. Diseño de investigación**

La presente investigación, según su propósito es aplicada cualitativa-cuantitativa porque busca la descripción y aplicación de los conocimientos conjuntamente con la explicación de los hallazgos. Asimismo, por el enfoque que persigue la investigación es mixta; por el tipo

de investigación según su fin busca ser aplicada; por el alcance o nivel de profundidad del conocimiento se decide en un estudio correlacional o causal y en cuanto al diseño de contrastación de la hipótesis es pre experimental – descriptiva - transversal. Todo ello por el hecho de que existe manipulan las variables y se profundiza haciendo análisis de las mismas, basándose en estudios ya aplicados en tal campo.

$$O1 \rightarrow X \rightarrow O2$$

Dónde:

O1: Es la observación que se realiza para hacer el estudio.

X: Es la propuesta de solución.

O2: La Medición después de la propuesta.

## **2.2.Unidad de Análisis, Población y Muestra**

### **2.2.1. Unidad de Análisis**

Los recursos utilizados en el proceso de Tratamiento de Aguas de la Empresa Minera del norte del País en el año 2020.

### **2.2.2. Población**

Está constituida por todos los procesos en el área de Tratamiento de Aguas de la Empresa Minera del norte del País, la cual involucra, aguas residuales, aguas acidas, aguas cianuradas y aguas crudas.

### **2.2.3. Muestra**

Muestra: Está constituida por todos los procesos en la Planta de Tratamiento específica, de Aguas Acidas (PTAA) de la Empresa Minera del norte del País.

## **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para la recolección y análisis de información confiable, se usó diversos métodos, técnicas e instrumentos que se muestran a continuación, luego se definen y se explica el porqué de cada técnica, indicando los instrumentos de cada una, asimismo el lugar de aplicación y a quienes se les va a realizar.

Tabla 1:

*Técnicas de recolección de datos y análisis de datos.*

Método	Fuente	Técnica
Cualitativo	Primaria	Entrevista.
Cualitativo	Primaria	Encuesta.
Observación	Primaria	Observación directa.
Cuantitativo	Secundaria	Análisis de datos.
Cuantitativo	Secundaria	Análisis de documentos.

**Fuente:** Elaboración propia

Para la obtención de la información como se muestra en la Tabla N° 1 se aplicaron la entrevista y la encuesta como fuentes primarias para obtener información, luego la observación directa para poder identificar los recursos, elementos y procesos que participan en el Tratamiento de Aguas Acidas y finalmente se realizó un análisis de datos para poder realizar la verificación de procesos dentro de la Planta.

Tabla 2:

*Especificación de las técnicas e instrumentos de recolección de datos*

TECNICA	JUSTIFICACION	INSTRUMENTOS	APLICADO EN
<b>Entrevista</b>	Permitirá brindarnos información de la empresa y de los procesos de elaboración	<b>Cuestionario de preguntas</b>	Jefe del área de Planta de la empresa Minera .Duración: 30 min.

<b>Encuesta</b>	Permitirá obtener información confiable para recolectar datos de nuestras dimensiones establecidas	<b>Hoja de Encuesta</b>	Supervisores, Operadores y ayudantes del área de Tratamiento de aguas empresa Minera Duración: 15 min.
<b>Observación directa</b>	Podemos observar el desarrollo de sus procesos de tratamiento de aguas.	<b>Lista de observación</b>	En el área de la PTAA - CN de la empresa Minera.
<b>Análisis de documentos</b>	Permitirá obtener información verbal y escrita sobre el área, sus antecedentes y la situación actual.	<b>Índices de documentos.</b>	Datos de los procesos en la PTAA - CN de la empresa Minera
<b>Revisión Análisis de datos</b>	Permitirá analizar índices, indicadores, tendencias y la investigación de fluctuaciones, variaciones y relaciones	<b>Índice de datos</b>	Información en la PTAA - CN de la empresa Minera

**Fuente:** Elaboración propia

#### a) Entrevista

Se planteará y aplicará una encuesta principal al Superintendente y al Jefe del área de Planta (previa coordinación), la cual consistirá en un cuestionario de 10 preguntas cortas y precisas que durarán 30 minutos, para conocer la situación actual sus plantas, procesos, tiempos, costos y otros alcances inmediatos. La información será adjuntada llenando el cuestionario preparado previamente. Ver entrevista en el Anexo n° 1.

#### PROCEDIMIENTO:

- ✓ Preparación de la Entrevista

- ✓ Se determina entrevistar a la persona encargada de la planta, en este caso al Superintendente de Planta.
- ✓ El lugar donde se realiza la entrevista es en las instalaciones de la empresa, se acondiciona un lugar adecuado para poder desarrollarlo y así obtener los datos.
- ✓ Secuencia de la Entrevista

Registrar la información y archivar los datos para referencia y análisis posteriores en la elaboración de la propuesta de este estudio.

#### **INSTRUMENTOS:**

- ✓ Guía de la entrevista.
- ✓ Lapicero.

#### **b) Encuesta**

Se elaborará y aplicará dos grupos de encuestas (previa coordinación), la primera dirigida a los Supervisores Operativos del área de tratamiento de aguas ácidas con el fin 10 preguntas, con el fin de conocer los procedimientos y técnicas usadas para los procesos de tratamiento de aguas; mientras que la segunda encuesta estará dirigida a los Operadores de la misma, está también contará con 10 interrogantes sencillas. Ver Encuesta en Anexo N°1.

#### **PROCEDIMIENTO:**

- ✓ Preparación de la Encuesta
- ✓ Se determina encuestar a la persona encargada de la Planta de Tratamiento de Aguas Acidas (Supervisores y Operadores de planta)
- ✓ La encuesta tiene una duración de 10 minutos con la finalidad de recabar información relevante para poder analizarla en la investigación.
- ✓ El lugar donde se realiza la entrevista es en las instalaciones de la planta, se acondiciona un lugar adecuado para poder desarrollarlo y así obtener los datos.

Registrar la información y archivar los datos para referencia y análisis posteriores en la elaboración de la propuesta de este estudio.

#### **INSTRUMENTOS:**

- ✓ Guía de la encuesta.
- ✓ Lapicero.

#### **c) Observación directa**

Esta se desarrollará dentro del área de la PTAA, en cuya área se realizará mediante este procedimiento los distintos procesos que realizan en tal área, verificando no solo procesos, sino compuestos químicos, represas, bombas, tuberías e instrumentos que se usan frecuentemente en esta área. Para el desarrollo de esta actividad se tendrá que coordinar previamente con el jefe del área y la autorización correspondiente.

#### **PROCEDIMIENTO:**

- ✓ Coordinación con el Supervisor de planta para la visita de las instalaciones y la observación de los diversos procesos.
- ✓ Se hace un recorrido por las instalaciones de la planta, para verificar procedimientos, reactivos y mecanismos dentro de la misma.
- ✓ Se registra información para especificar el número fases que sigue el proceso de tratamiento de aguas acidas, desde que entra a las pozas de alimentación hasta su disposición final al medio ambiente.
- ✓ Se toma algunas evidencias fotográficas para verificar los químicos que se utilizan y como se va transformando el agua acida.

Secuencia de la Observación directa

- ✓ Registro fotográfico de la observación de campo.
- ✓ Registro de la cantidad del agua tratada y la reducción de metales
- ✓ Nivel de PH
- ✓ Obtener información concreta del proceso de tratamiento.

#### **INSTRUMENTOS:**

- ✓ Ficha de observación.
- ✓ Medidor de PH
- ✓ Clorímetro
- ✓ Turbilímetro

#### **e) Análisis de documentos**

Se procederá solicitar la información documental con la que cuenta la empresa, desde que la empresa inicio con el tratamiento de aguas diversas, esto permitirá analizar los procesos más utilizados, conjuntamente con los reactivos químicos y sus funciones para transformar las propiedades del agua ácida. Si la entidad no contase con esta información, se indagará verbalmente los procesos que se realizan cotidianamente dentro de los proceso del área.

#### **PROCEDIMIENTO:**

Análisis de documentos

- ✓ Es de gran importancia analizar la información de los documentos.
- ✓ Contrastar los datos acumulados en la base de datos de la planta.
- ✓ Análisis de datos encontrados.
- ✓ Elaboración tablas de síntesis de información.

Secuencia de la recolección de datos

- ✓ Elaboración una base de datos.
- ✓ Contrastación de datos.
- ✓ Reconocimiento de un problema general en el funcionamiento de la planta.

#### **INSTRUMENTOS:**

- ✓ Índices de documentos

#### **g) Análisis de Datos**

Se desarrollará dentro del área de Planta, específicamente en la Planta de Tratamiento de Aguas Acidas, esto también implica la revisión de ciertos antecedentes externos a la empresa. Con ello se podrá analizar la información textual, virtual y oral brindada por la empresa en las visitas técnicas al área y las entrevistas con cada una de las personas mencionadas más adelante. Todo esto permitirá confrontar datos de procesos, reactivos y elementos e incluso de investigaciones sobre este tema.

### **PROCEDIMIENTO:**

#### Recolección y análisis de datos

- ✓ Es necesario recopilar todos los datos en el proceso de tratamiento de aguas acidas.
- ✓ Indagar para obtener datos de depuración de las aguas.
- ✓ Análisis de datos y Elaboración de archivos.

#### Secuencia de la recolección de datos

- ✓ Elaboración una base de datos.
- ✓ Identificar procesos más importantes en planta.
- ✓ Identificar la función principal de los reactivos químicos.

### **INSTRUMENTOS:**

- ✓ Índices de datos

Ahora bien, el procesamiento y uso de métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos se realizará de la siguiente manera, tal y como se muestra en la tabla N° 3:

Tabla 3:

*Análisis de datos*

---

<b>INDICADOR</b>	<b>MÉTODOS</b>	<b>INSTRUMENTO</b>
------------------	----------------	--------------------

---

Nivel de acidez	$Ph = -\log(H +)$ <i>Ecuación 1: Potencial de hidrógeno</i>	Recopilación de información Microsoft Excel
Capacidad de planta	$CP = \text{Flujos} * \text{Tiempo. Op. Diario}$ <i>Ecuación 2: Capacidad de Planta</i>	Recopilación de información Microsoft Excel
Operación de planta (Tiempo)	$TRO = TO \text{ semanal} - TT \text{ Paradas}$ <i>Ecuación 3: Tiempo Real de Operación (TRO)</i>	Recopilación de información Microsoft Excel
Consumo de reactivos químicos	$CR = \text{cant. de Reactivos} * T. \text{ diario de Op.}$ <i>Ecuación 4: Consumo de Reactivos (CR)</i>	Microsoft Excel
Efectividad de procesos	$E = \frac{\% \text{ Eficiencia}}{\% \text{ Eficacia}}$ <i>Ecuación 5: Efectividad de procesos</i>	Microsoft Excel
Flujos o Caudales	$Q = F * \text{Tiempo de op. diario}$ <i>Ecuación 6: Cálculo del Caudal (Q)</i>	Microsoft Excel
Calidad del agua tratada	<i>Muestras de Laboratorio</i>	Recopilación de información Microsoft Excel
Calculo de nivel de metales	<i>Muestras de Laboratorio</i>	Recopilación de información Microsoft Excel

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 2.4. Procedimientos de análisis de datos

Para el análisis y procesamiento de todos los datos y la información obtenida a través de las encuestas, las entrevistas, la observación directa y el análisis de documentos, se hizo uso de los instrumentos más frecuentemente empleados en todo tiempo de investigaciones

experimentales y pre experimentales como la nuestra, los cuales se muestran a continuación en la tabla N° 4.

Tabla 4:

*Procesamiento de datos.*

INSTRUMENTOS	JUSTIFICACION
Microsoft Office Word	Permitirá elaborar y estructurar el informe de investigación.
Microsoft Office Excel	Permitirá elaborar bases de datos, los cuadros (tablas) y formatos obtener y registrar información pertinente.
Microsoft Visio	Permitirá elaborar diagramas para la representación gráfica del análisis de datos obtenidos relevantemente.
Microsoft PowerPoint	Permitirá elaborar las diapositivas, para la respectiva presentación.

**Fuente:** Elaboración Propia

## 2.5. Consideraciones éticas para la presente investigación

Se ha propuesto realizar una investigación exhaustiva y minuciosa (Investigación sin riesgo) en el área de procesos de tratamiento de aguas acidas en una empresa minera de la región,

con el fin de profundizar en sus conocimientos y a la vez obtener el título profesional de Ingenieros Industriales.

En lo que respecta a la población descrita en dicha investigación, esta aborda todas las áreas, procesos y personal de la planta (04 personas) de tratamiento de aguas acidas, considerando su rol en la operación y funcionamiento de la misma dentro de la empresa minera donde se realiza el estudio.

Para la planeación, ejecución y culminación de la presente investigación se tuvo en cuenta la veracidad de la información, la claridad y transparencia en los procesos de recolección de datos y finalmente el respeto a la información brindada por la empresa base y los debidos procedimientos para la obtención de la misma.

Por deseo directo de gerencia la empresa donde se solicitó los permisos y se hizo los trámites para la recopilación de información, la razón social de la misma no figura en la investigación, ello por considerar una irrupción y violación de la propiedad privada y por procedimientos que puede resultar violentos y contrarios a los acuerdos con la comunidad donde opera dicha empresa.

Respetando propiedad intelectual y derechos de autor que aportaran en la elaboración del trabajo de investigación se tendrá respeto y cuidado a las personas involucradas en la realización del trabajo de investigación, al lugar o propiedad de donde se obtendrán las muestras de estudio, así como al medio ambiente, y al contexto social no yendo en contra de costumbres, convicciones políticas y moral.

## **2.6. Matriz de Operacionalización de Variables**

Las variables de estudio de la presente investigación son:

- Variable independiente: Tratamiento de aguas acidas

- Variable dependiente: Disposición final

Tabla 1:

*Matriz de Operacionalización de Variables*

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
<b>Independiente</b>			
<b>Proceso de tratamiento de aguas acidas</b>	El tratamiento de aguas ácidas de mina, es el proceso consistente en agregar productos neutralizantes como la cal viva (CaO), que se activa con lechada de Cal y la dosificación de ácidos y floculante vitales para sedimentar los lodos formados, al término de dicho proceso, el agua ácida es dirigida al reactor luego es guiada y filtrada el agua ácida hasta lograr un valor del pH que oscila entre 10 y 10,5; y arrojada al medio ambiente con pH>7. (Chipana, 2019).	Capacidad de Planta	CD = FE*Tiempo de op. diario CE = FE*Tiempo de op. diario
		Operación de Planta (Tiempo)	$TRO = TO \text{ semanal} - TT \text{ Paradas}$
		Consumo de Reactivos (Químicos)	$CR = Cant. \text{ de Reactivos} * \text{Tiempo de op. diario}$
		Efectividad	$E = \frac{\% \text{ de Eficiencia}}{\% \text{ de Eficacia}}$
		Flujos o caudales (Q)	$Q = (FE * \text{Tiempo de operación diario})$

Fuente: Elaboración Propia

Continúa...

Viene de la página anterior

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
<b>Dependiente</b>			
<b>Disposición final</b>	Desde el punto de vista de las fuentes de generación, podemos definir que la disposición final es la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes de diferentes actividades. (Metcalf, 1995)	Nivel de acidez	$Ph = -\log (H+)$
		Calidad del agua Tratada	Muestras de Laboratorio
		Nivel de Metales Disueltos	Muestras de Laboratorio

Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Diagnóstico general de la empresa

- **Resultado N° 1:** Determinar la situación actual, diseño y funcionamiento del proceso de tratamiento de aguas acidas para la disposición final en una empresa minera en el norte del Perú.

Mediante el estudio aplicado a esta empresa se logró identificar diversos problemas y factores que no le permiten realizar un tratamiento integral y realizar un proceso de calidad.

Todo ello se logró determinar a través de la aplicación de diversas metodologías de investigación y obtención de datos, como entrevistas, encuestas, observación directa, análisis de documentos y toma de datos experimentales. En lo que respecta a la entrevista con los encargados de planta, se verifico la situación actual de los procesos y de la problemática que atraviesa esta sobre todo durante los tiempos de invierno.

Para una explicación global de los procesos que realiza la planta, es importante conocer toda la planta, sus estaciones y lo que se realiza en cada estación, para de esta forma conocer los procesos y analizar cuál es el problema fundamental que afecta y cuáles serían las posibles mejoras a aplicar.

Para ello, a continuación se presenta todo el proceso que se sigue, desde la colección de agua acida de los distintos puntos y pozas, agua que luego es bombeada a la poza de equalización, para luego pasar por todos los procesos que se realizan en toda la planta, como el agua va pasando de estación en estación y como se va realizando todo el proceso.

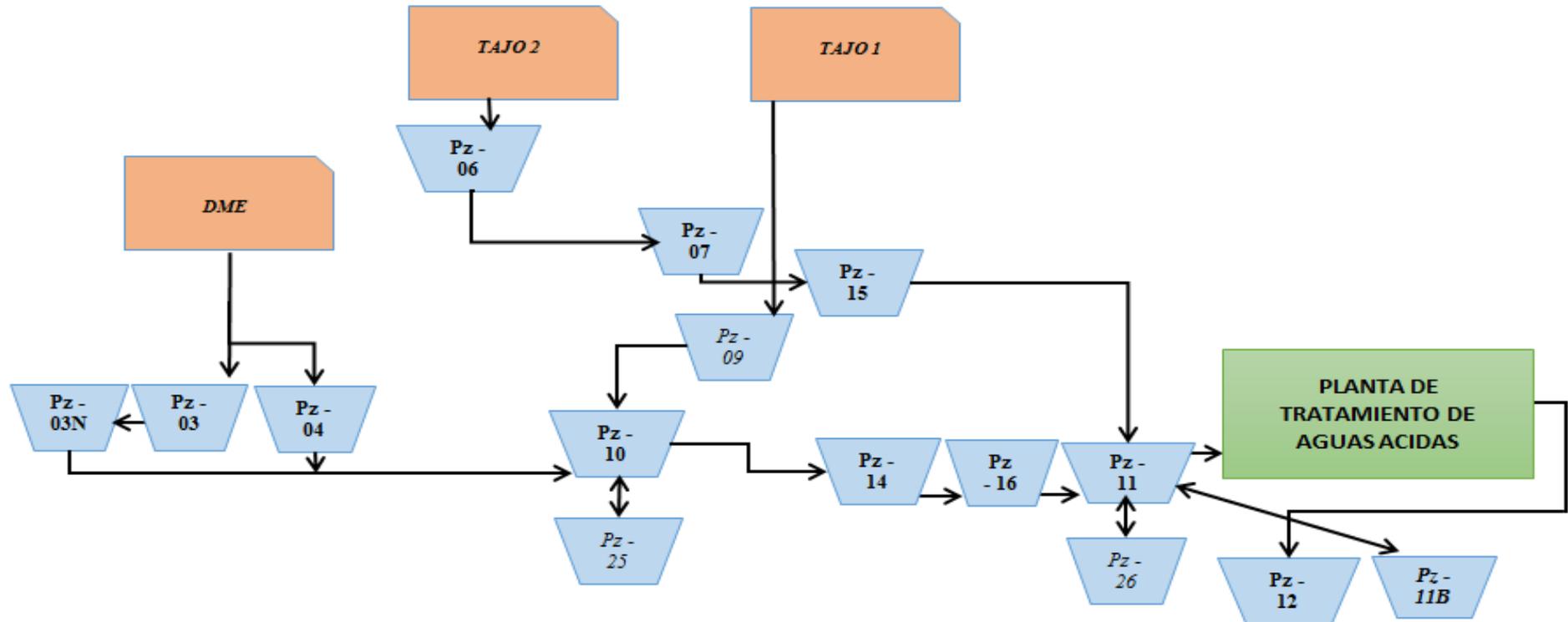


Figura 1:

*Resumen de Sistema de pozas de aguas acidas que maneja la empresa*

**Fuente:** Elaboración Propia

Este esquema representa el sistema de pozas que la empresa maneja para recepcionar el agua y bombearla a la poza de colección que alimenta a la planta de tratamiento de aguas acidas. En la Figura N° 1 se puede apreciar todo el circuito que siguen las aguas acidas desde los puntos de origen

ya sea en el DME (Deposito de Material Estéril) o en los Tajos 1 y 2 (puntos donde se generan aguas acidas por el movimiento de tierras y las lluvias), hacia su colección en las diversas pozas, para luego bombearla a planta para su posterior tratamiento.

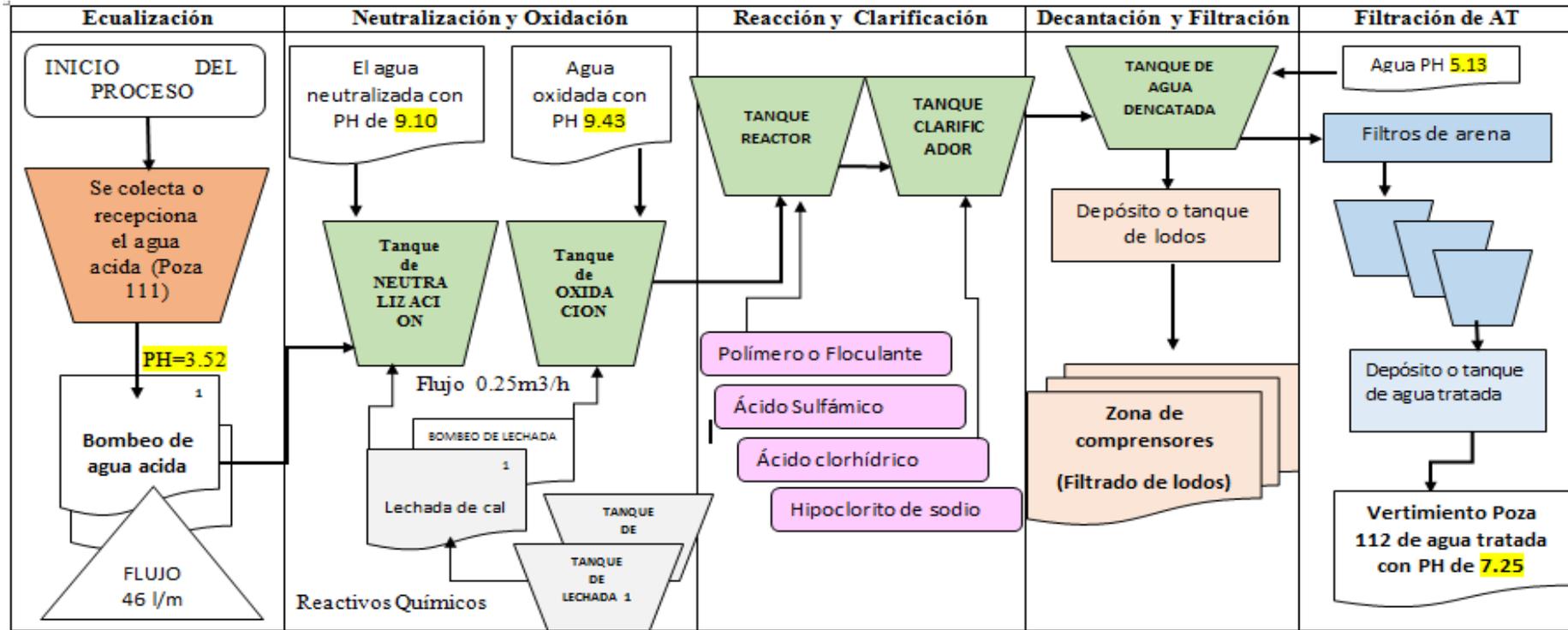


Figura 2:  
*Flujograma de proceso de tratamiento de aguas ácidas*

**Fuente:** Elaboración Propia

En la Figura N° 2 se puede apreciar el flujograma de todo el proceso de tratamiento de aguas acida (Ver sistema de pozas de la Figura N° 1); ahora bien el proceso de tratamiento inicia tras el bombeo de agua acida de la poza 11 hacia los tanques de Neutralización y Oxidación, donde se les

vierte Oxido de calcio para subir el pH del agua, luego pasa al tanque reactor donde se le vierte floculante para sedimentar lodos, luego en el tanque clarificador se le vierte ácido clorhídrico para precipitar metales en forma de lodo y bombearlos al taque de lodos para su posterior filtración solidificada y finalmente el agua decantada es pasada por los filtros de arena y expulsada al medio ambiente.

Tabla 6:

*Matriz de Priorización de Problemas*

PROBLEMA	Reactivos de mala calidad	Desgaste de bombas	Uso de bombas inadecuadas	Obstrucción de tuberías	Demasiada entrada de flujo	Paradas de planta	Pozas de contingencia demasiado pequeñas	Fallas de operación de planta
Reactivos de mala calidad		Reactivos de mala calidad	Reactivos de mala calidad	Obstrucción de tuberías	Demasiada entrada de flujo	Paradas de planta	Reactivos de mala calidad	Fallas de operación de planta
Desgaste de bombas			Desgaste de bombas	Obstrucción de tuberías	Demasiada entrada de flujo	Paradas de planta	Desgaste de bombas	Fallas de operación de planta
Uso de bombas inadecuadas				Obstrucción de tuberías	Demasiada entrada de flujo	Paradas de planta	Uso de bombas inadecuadas	Fallas de operación de planta
Obstrucción de tuberías					Demasiada entrada de flujo	Paradas de planta	Obstrucción de tuberías	Fallas de operación de planta
Demasiada entrada de flujo						Demasiada entrada de flujo	Demasiada entrada de flujo	Demasiada entrada de flujo
Paradas de planta							Paradas de planta	Paradas de planta
Pozas de contingencia demasiado pequeñas								Fallas de operación de planta
Fallas de operación de planta								

**Fuente:** Elaboración Propia

En la Tabla N° 6 se puede apreciar la Matriz de Priorización de Problemas, para la elaboración de la cual se tuvo en cuenta la Entrevista y Encuestas aplicadas en la empresa, a través de cuyos instrumentos se logró identificar varios problemas que se procesaron en la Matriz, bajo el método Analítico Jerárquico; en dicha matriz se puede verificar de una forma clara y concisa los principales problemas que afectan a la planta y a sus procesos, se hizo la contrastación analítica, arrojando como resultado el orden de la problemática ilustrado en la tabla N° 7.

Tabla 7:

*Cuadro final que muestra la priorización de problemas*

<b>PROBLEMA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>RANGO</b>
Demasiada entrada de flujo	7	1
Paradas de planta	6	2
Obstrucción de tuberías	5	3
Fallas de operación de planta	4	4
Reactivos de mala calidad	3	5
Desgaste de bombas	2	6
Uso de bombas inadecuadas	1	7
Pozas de contingencia demasiado pequeñas	0	8

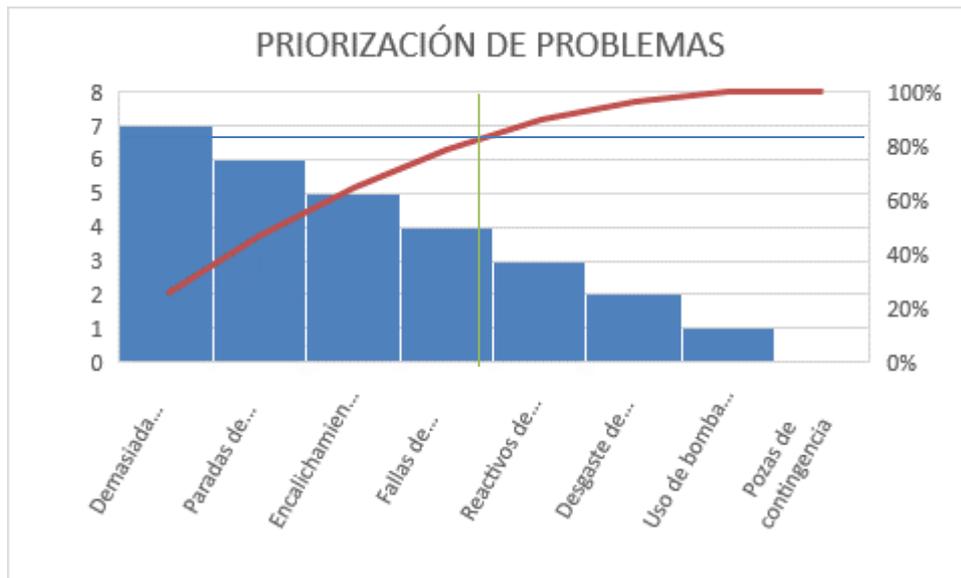
**Fuente:** Elaboración Propia

Luego de la observación de los procesos de la planta de tratamiento de aguas acidas y tras el análisis en la Matriz de Priorización, se obtuvo como resultado los elementos mostrados en la Tabla 7, donde podemos apreciar que el problema más frecuente es “Demasiada entrada de flujo”, y así sucesivamente el resto de problemas que le siguen en orden jerárquico, ello

porque en tiempos de lluvia la planta resulta muy pequeña, pues el flujo entrante es mayor a la capacidad de diseño de la planta, lo cual representa un problema fundamental y una amenaza al medio ambiente y al ecosistema circundante.

Gráfico 1:

*Diagrama Pareto*



**Fuente:** Elaboración Propia

El Gráfico N° 1 ilustra con el Diagrama Pareto la secuencia y priorización de los principales problemas en la planta; se puede verificar según la línea enmarcada, que el problema fundamental de la planta radica en los tres principales problemas, tales como la Demasiada entrada de flujo, Las paradas de Planta y la obstrucción de tuberías y válvulas, siendo estos los problemas sobre los que se centra la problemática de la planta de tratamiento

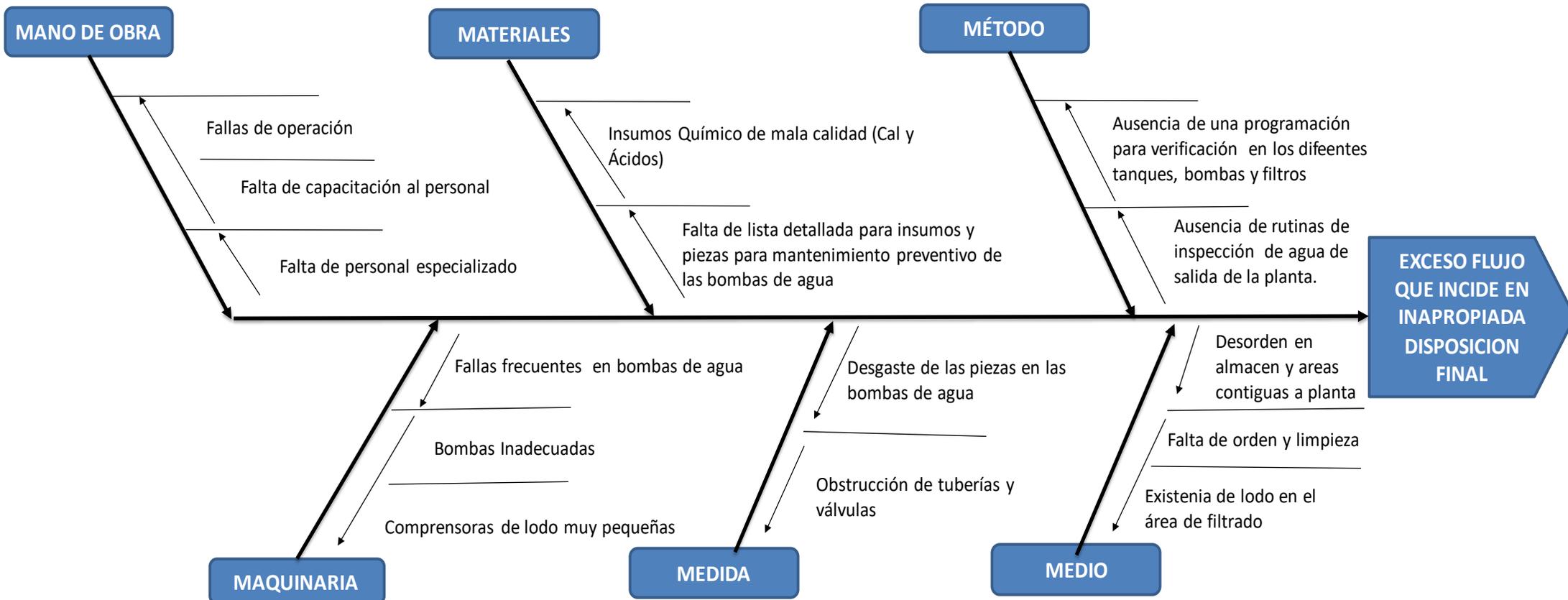


Figura N° 3:

*Diagrama de Ishikawa*

**Fuente:** Elaboración Propia

En la Planta de tratamiento de aguas acidas de empresa minera como lo muestra la Figura N° 3 en el Diagrama Causa Efecto o Ishikawa, presenta una serie de dificultades para que haya un tratamiento de aguas acidas de calidad, estas están en la mano de obra, fallas de operación, falta de capacitación y carencia de personal especializado, así mismo, la falta de una lista detallada de los insumos y la baja calidad de los materiales químicos que se usa como insumos de dicho tratamiento, por otro lado, falla en sus bombas de agua, taques y filtros causadas por el tiempo de servicio, en el cual podemos encontrar una ausencia de programación de mantenimiento.

La empresa donde se está realizando el estudio, en la actualidad como ya se venía hablando, realiza diversos procesos de tratamiento en varios tipos de aguas; ya sean aguas cianuradas, acidas, crudas y residuales; logrando convertirlas en aguas lo más parecidas posible a su estado natural.

El problema fundamental en la Planta de Tratamiento de Aguas Acidas es que durante los meses de lluvias en la zona (aunque por ser zonas altas presentan lluvias casi todos los meses), la planta no se abastece con el tratamiento para todo el flujo que normalmente llega en estas temporadas a la poza de recepción, donde se colecta todas las aguas provenientes de todos los puntos del área.

Para verificar la información relatada anteriormente que clarifica la situación actual y los procesos de la misma, se realizó una visita al área en estudio, se verifico los procesos de la planta y lo más importante, se aplicó una entrevista y encuestas que reflejaron la situación actual y las dificultades que enfrenta la empresa en este sentido.

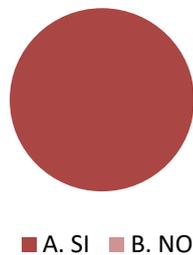
De la aplicación de la encuesta al personal de planta de tratamiento de aguas acidas de la empresa minera, se obtuvo la siguiente información que revela la situación actual y describe algunos de los procesos de la misma. Ver Anexo N° 1

1. ¿Es importante la existencia de una planta de tratamiento de aguas dentro de las operaciones de la empresa?

Gráfico 2:

Pregunta N° 1

**¿Es importante la existencia de una planta de tratamiento de aguas dentro de las operaciones de la empresa?**



**Fuente:** Elaboración Propia

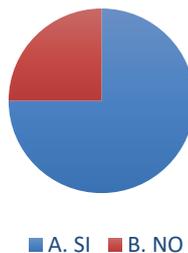
Interpretación: En el presente gráfico se puede observar que el 100% de los encuestados, afirmaron que es importante la existencia de una planta de tratamiento dentro de operaciones mineras.

2. ¿La planta cumple las expectativas para las que fue instalada?

Gráfico 3:

Pregunta N° 2

**¿La planta cumple las expectativas para las que fue instalada?**



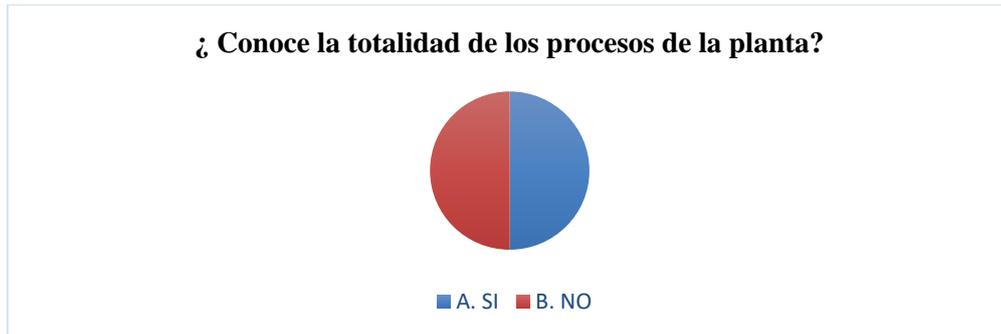
**Fuente:** Elaboración Propia

Interpretación: En el presente gráfico se puede afirmar que del 100% de los encuestados, 75% afirmó que la Planta si cumple con las expectativas para la que fue instalada, y el otro 25% afirmo que la Planta no cumple con las expectativas para la que fue instalada.

3. ¿Conoce la totalidad de los procesos de la planta?

Gráfico 4:

Pregunta N° 3



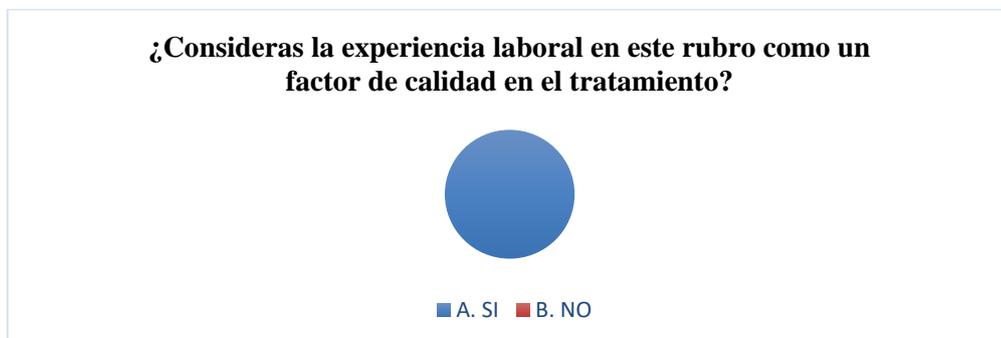
**Fuente:** Elaboración Propia

Interpretación: En el presente gráfico se puede afirmar que del 100% de los encuestados, 50% afirmó que, si conoce la totalidad de los procesos de la planta, y el otro 50% afirmó que no conoce la totalidad de los procesos de la planta.

4. ¿Consideras la experiencia laboral en este rubro como un factor de calidad en el tratamiento?

Gráfico 5:

Pregunta N° 4



**Fuente:** Elaboración Propia

Interpretación: En el presente gráfico se puede observar que el 100% de los encuestados, afirmaron que si considera la experiencia laboral en este rubro como un factor de calidad en el tratamiento.

5. ¿Existen falencias en el tratamiento de aguas acidas diariamente?

Gráfico 6:

Pregunta N° 5



**Fuente:** Elaboración Propia

Interpretación: En el presente gráfico se puede observar que el 100% de los encuestados, afirmaron que si Existen falencias en el tratamiento de aguas acidas diariamente.

6. ¿El agua que trata la planta es un agua de calidad?

Gráfico 7:

Pregunta N° 6



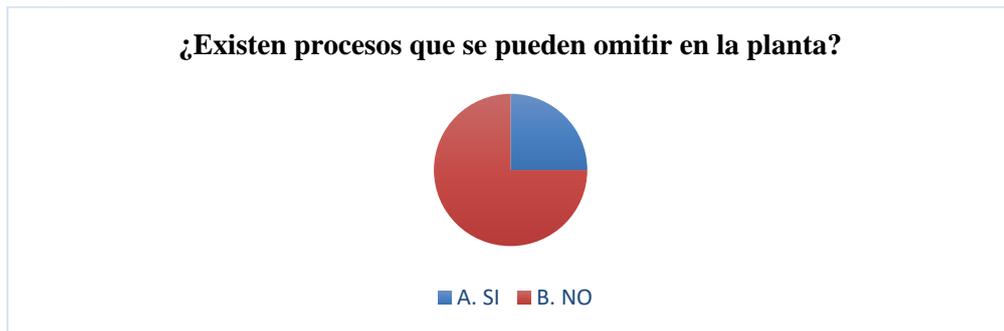
**Fuente:** Elaboración Propia

Interpretación: En el presente gráfico se puede afirmar que del 100% de los encuestados, 50% afirmó que, el agua que trata la planta es un agua de calidad, y el otro 50% afirmó el agua que trata la planta no es un agua de calidad.

7. ¿Existen procesos que se pueden omitir en la planta?

Gráfico 8:

Pregunta N° 7



**Fuente:** Elaboración Propia

Interpretación: En el presente gráfico se puede afirmar que del 100% de los encuestados, 25% afirmó que si existen procesos que se pueden omitir en la planta, y el otro 75% afirmó que no existen procesos que se pueden omitir en la planta.

8. ¿Los reactivos químicos que se usan siempre cumplen con su función?

Gráfico 9:

Pregunta N° 8



**Fuente:** Elaboración Propia

Interpretación: En el presente gráfico se puede afirmar que del 100% de los encuestados, 50% afirmó que los reactivos químicos que se usan siempre si cumplen con su función, y el otro 50% afirmó que los reactivos químicos que se usan siempre no cumplen con su función.

9. ¿Todos los elementos de la planta funcionan a cabalidad?

Gráfico 10:

Pregunta N° 9



**Fuente:** Elaboración Propia

Interpretación: En el presente gráfico se puede afirmar que del 100% de los encuestados, 75% afirmó que todos los elementos de la planta funcionan a cabalidad, y el otro 25% afirmo que no todos los elementos de la planta funcionan a cabalidad.

10. ¿Consideras que se pueden implementar mejoras en la planta?

Gráfico 11:

Pregunta N° 10



**Fuente:** Elaboración Propia

Interpretación: En el presente gráfico se puede observar que el 100% de los encuestados, afirmaron que si consideran que se pueden implementar mejoras en la planta.

En lo respecta a la observación directa, herramienta que fue aplicada por el equipo de investigación para corroborar y verificar los diversos procesos y así abstraer las principales carencias dentro de los procesos realizados en planta de tratamiento de aguas acidas. Con este instrumento se pudo analizar cada proceso, desde la colección de aguas acidas en los diversos puntos hasta los procesos que se realizan dentro y fuera de la planta, como parte del tratamiento, esto se puede visualizar en la tabla N° 8, donde se ha aplicado el formato usado para dicho fin en el Anexo N° 6.

Tabla 8:

*Guía de observación directa*

N°	Aspectos a Evaluar	Sí	No	Algunos	Nada	Observaciones
1	Esta la poza de colección con nivel relativamente bajo		X			
2	Se observan lodos en la poza de colección	X				En una esquina de la poza
3	El área se encuentra limpia y ordenada	X				
4	El Personal usa el EEP apropiado y correctamente	X				
5	El operador elabora sus actividades en tiempo y forma	X				
6	Los reactivos están almacenados y ubicados correctamente			X		Algunos están fuera del almacén
7	Existe un área que supervisa la calidad de los insumos		X			Simplemente se recepciona producto
8	Todas las tuberías válvulas funcionan correctamente			X		Existen tuberías semi obstruidas
9	Los equipos y herramientas de planta funcionan correctamente			X		Existen bombas y herramientas dañadas
10	Las bombas usadas son las apropiadas			X		Solo algunas
11	Existen reportes de problemas en planta	X				
12	Se cumple con la secuencia de procesos			X		Por exceso de agua no se cumplen
13	Se pueden verificar los principales procesos	X				
14	El área de lodos funciona correctamente		X			Problema con bombas
15	Existe control continuo del nivel de Ph	X				

**Fuente:** Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la tabla 7 se verifican los distintos aspectos que vislumbran la situación actual de la planta de tratamiento de aguas acidas, mostrando la problemática desde la poza de colección que contiene un nivel considerable de agua acida al momento de la observación, y luego se verificó procesos que van desde la situación física del área de trabajo hasta el cuidado y la responsabilidad que tienen los trabajadores respecto a los diversos procesos, la situación de las tuberías y los equipos (las bombas y compresoras), la recepción y almacenamiento de materiales reactivos para el proceso y finalmente la revisión y monitoreo de niveles de acidez, ácidos y metales, según los LMP y otros mecanismos.

### 3.2. Cálculo de Indicadores –Variable Independiente

#### 3.2.1. Capacidad de Planta

La planta de tratamiento de aguas acidas tiene una capacidad máxima de diseño, la cual va variando de acuerdo al aumento o disminución de las lluvias en la zona.

Tabla 9:

*Capacidad de planta*

	<b>Capacidad Diseñada (CD)</b>	<b>Capacidad Excedida (CE)</b>	<b>Unidad de Medida</b>
Tope Max	40	60	l/s
Observación	38	60	l/s

**Fuente:** Elaboración Propia

De acuerdo al dato, la capacidad máxima de diseño de planta (CD) es de 40 l/s, pero esto varía de acuerdo al nivel de lluvias, si no hay éstas se trabaja con un flujo menor a 40 l/s; mientras que, en otros meses por el aumento de flujo a causa de las lluvias, se aumenta la capacidad (CE) a una entrada de flujo de 60 l/s como tope máximo de caudal. Al momento de la observación se encontró funcionando la planta a un flujo de 38 l/s.

Tabla N° 10:

Cálculo de la capacidad de planta

<b>CD</b>			
<b>Funcionamiento normal</b>			
PTAA	1 min	2 280	Litros
	1 hora	136 800	Litros
<b>Funcionamiento de emergencia</b>			
<b>CE (Lluvias)</b>			
PTAA	1 min	3 600	Litros
	1 hora	216 000	Litros

**Fuente:** Elaboración Propia

Se realizó en una primera instancia la confrontación de cálculos, realizando estos en litros para tener una visión general y luego mostrar los mismos resultados, pero mostrados en m<sup>3</sup>, de lo que sería el funcionamiento según su capacidad de diseño y según su capacidad extendida.

La conversión según las capacidades convertidas a m<sup>3</sup> sería la siguiente:

Capacidad de diseño (CD) a 40 l/s

$$CD \text{ hora} = \frac{40 \text{ l}}{s} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \times \frac{3600 \text{ l}}{h} = 144 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

$$CD \text{ día} = \frac{40 \text{ l}}{s} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \times \frac{3600 \text{ l}}{h} \times 24 \text{ h} = 3456 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Capacidad Extendida (CE) a 40 l/s

$$CE \text{ hora} = \frac{60 \text{ l}}{s} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \times \frac{3600 \text{ l}}{h} = 216 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

$$CE \text{ día} = \frac{60 \text{ l}}{s} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \times \frac{3600 \text{ l}}{h} \times \frac{24 \text{ h}}{\text{día}} = 5184 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Estos resultados se plasman a continuación en la tabla 11, considerando ambas capacidades descriptivas y el flujo que puede tratar diariamente teniendo en cuenta un supuesto funcionamiento continuado y sin paradas.

Tabla 11:

*Cálculo del diseño de planta normal y extendida*

<b>Tiempo de operación</b>	<b>Funcionamiento normal (a 40 l/s)</b>	<b>Funcionamiento de emergencia (Lluvias a 60 l/s)</b>
1 minuto	2.40 m <sup>3</sup>	3.60 m <sup>3</sup>
1 hora	144.00 m <sup>3</sup>	216.00 m <sup>3</sup>
12 horas	1728.00 m <sup>3</sup>	2592.00 m <sup>3</sup>
24 horas (1 día)	3456.00 m <sup>3</sup>	5184.00 m <sup>3</sup>

**Fuente:** Elaboración Propia

La Planta de Tratamiento de acuerdo a los resultados obtenidos, tendría una capacidad máxima a tratar, ya sea según su diseño en un funcionamiento normal de 3 456 m<sup>3</sup>/día a un flujo de 38 l/s; pero según su capacidad extendida por funcionamiento de emergencia en tiempos de lluvias, podría llegar a tratar 5 184 m<sup>3</sup>/día a un flujo máximo (tope máximo) de 60 l/s. Esto último ocasiona problemas en el tratamiento tales como inestabilidad del nivel de pH, elevación de los metales, problemas en la filtración de lodos, recirculación obligatoria de lodos o agua mal tratada y un último problema que altera el vertimiento con posibilidad de alterar los LMP con los que se trabaja.

### 3.2.2. Operación de Planta

Se tiene bien en claro que para el funcionamiento de planta se requieren diversos recursos, pues resaltan la mano de obra indispensable para la operación, como los supervisores, operadores, ayudantes y el personal de mantenimiento; además de los diversos reactivos, los procesos y todos los equipos involucrados dentro del funcionamiento de la planta.

Tabla 12:

*Funcionamiento diario y semanal de planta (En Horas y Minutos)*

<b>Consideración Operativas</b>	<b>Tiempo (Hrs.)</b>	<b>Tiempo (Min)</b>
Funcionamiento diario de planta	24	1440
Funcionamiento semanal de planta	168	10080

**Fuente:** Elaboración Propia

Como el agua es un recurso renovable, para tratar la totalidad de drenajes de agua acida, se requiere el funcionamiento continuo de planta, es decir durante los 365 días del año, pero las cosas se desgastan y culminan su vida útil, y los elementos de la planta no son ajenos a estos cambios.

Tabla 13:

*Listado de reportes semanales más comunes en planta*

<b>REPORTES SEMANALES</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo de Solución</b>	<b>Tiempo Total</b>	<b>Unidad</b>
Parada por Fallas de operación	2	1	2	Horas
Paradas de planta normal	1	0.5	0.5	Horas
Parada por Problemas en válvulas y llaves	2	1	2	Horas
Retraso por falla en reactivos (Mala calidad)	3	2	6	Horas
Parada por falla en bombas	2	1	2	Horas
Parada por obstrucción de líneas	3	1	3	Horas
Parada por Falta de materia prima	0	0	0	Horas
<b>Totales</b>	<b>13</b>	<b>6.5</b>	<b>15.5</b>	

**Fuente:** Elaboración Propia

De acuerdo a los reportes que se realizan diariamente, se recopiló los que sucedieron en una semana y como resultado se obtuvo la Tabla 13, teniendo en cuenta que esto varía

semanalmente y los resultados varían mensualmente, pues como se sabe las fallas en la planta son diversas y por más que se desease no un funcionamiento normal y cero fallas.

Tabla 14:

*Resultados obtenidos para el cálculo de tiempo real de operación.*

<b>Resultados Obtenidos</b>	<b>Cantidad</b>
Cantidad de Reportes Semanales	13
Tiempo promedio de parada (En horas)	0.9 (54 min)
Tiempo Total de paradas (En horas)	15.5

**Fuente:** Elaboración Propia

Resultados obtenidos de la cantidad de reportes semanales, el tiempo promedio de parada y el tiempo total de paradas semanales.

$$TRO = \text{Tiempo talal de operacion} - \text{Tiempo total de paradas}$$

$$\text{TiempoRealOperación} = 168 - 15.5 \text{ horas}$$

$$\text{TiempoRealOperación} = 152.5 \text{ horas}$$

Las paradas de planta se suelen dar en diversas ocasiones y procesos de la misma, dentro de los más importantes, resaltan los de la tabla 13, donde se ha considera su incidencia semanal, cuyos reportes van variando de semana en semana, generalmente pues van a depender de múltiples factores operacionales, materiales y ambientales. De todo ello se ha conseguido que en una semana suceden aproximadamente 13 reportes de falla, haciendo un consumo total de tiempo de 15.5 horas, con un tiempo promedio de falla de 0.9 horas, lo que equivale a 54 minutos. De esto se ha concluido que, de las 168 horas semanales de operación, realmente solo se utiliza 152.5 horas semanales. Es decir, del 100% de horas (24 horas) que la planta debe estar en funcionamiento, en realidad del funcionamiento normal de 168 horas semanales solo el 90.77% de porcentaje de horas que la planta se encuentra operativa.

### 3.2.3. Uso de Reactivos

Los reactivos químicos más usados son el Óxido de calcio (Cal), los ácidos Clorhídrico, el Floculante (Polímero); el ácido Sulfámico y el Hipoclorito de Calcio; de los cuales solo se usan los 3 primeros y cuyos consumos se detallan a continuación en la tabla N° 15.

Tabla 15:

*Consumo diario de Óxido de Calcio (Cal)*

DATO	CANTIDAD	UNIDAD
01 Bigbag por turno	1 000	Kg
Cantidad dosificada		
aproximada diaria	2 000	kg/día
Consumo por mes	60 000	kg/mes

**Fuente:** Elaboración Propia

El consumo de este reactivo va depender de la calidad del producto y de la acidez del agua, pero según los cálculos se dosifica 1000 kg (1Ton) por turno, haciendo un consumo diario de 2 toneladas diarias, lo cual al mes se ampliaría en un consumo de 6 toneladas. Este dato va depender del nivel de acidez con que llegue el agua a la planta, y la variación más clara va ser en los meses de sequía debido a la mayor densidad del agua acida.

Tabla 16:

*Consumo diario de Ácido Clorhídrico*

DATO	CANTIDAD	UNIDAD
------	----------	--------

Consumo aproximado por turno	120 l en 12h	l/h
Consumo por hora	10	l/h
Consumo por día	240	l/día
Consumo por mes	7200	l/mes

**Fuente:** Elaboración Propia

El consumo de este reactivo va depender en gran mayoría de la calidad del producto, cuyo objetivo es precipitar los metales concentrados en el agua acida. Según los resultados en un mes se va tener un consumo de 7200 litros de Ácido.

Tabla 17:

Dosificación diaria de Floculante

DATO	CANTIDAD	UNIDAD
Dosificación por min	0.23 l/min	l/min
Dosificación por hora	13.8 l/h	l/h
Dosificación por día	331.2 l/día	l/día

**Fuente:** Elaboración Propia

La tabla 17 muestra la dosificación diaria que se hace de floculante (a un pH > 7) en el agua acida para que esta pueda precipitar el lodo y con este los metales, quedando el agua libre de partículas pesadas o solidos suspendidos. Pues teniendo en cuenta que se hace una preparación de 0.23 l/min de floculante para dosificar el tanque de clarificación, para realizar el proceso de precipitación de metales y lodos, objetivo final de la floculación.

Tabla 18:

*Consumo diario de Floculante*

DATO	CANTIDAD	UNIDAD
------	----------	--------

Cantidad aproximada		
dosificada	3 kg para 40 l	kg/l
Consumo diario	24.84	kg/día
Consumo mensual	745.2	kg/mes

**Fuente:** Elaboración Propia

Según dato se dosifica de 3 kg por cada 40 l de agua acida el floculante va reaccionar a un pH mayor a 7.5, cuya función es atrapar solidos del agua y precipitarlos, a ese ritmo se consumen 24.84 kg/día de floculante para cumplir con su función de precipitar lodos.

Tabla 19:

*Consumo diario total de reactivos*

Agente	Consumo	Unidad	Consumo
Neutralizante	Diario		por m3 tratado
Cal	2000	kg/día	1.8144 kg/ m <sup>3</sup>
Ácido Clorhídrico	240	l/día	15.12 ml/ m <sup>3</sup>
Floculante	24.84	kg/día	146.09 g/ m <sup>3</sup>

**Fuente:** Elaboración Propia

La Tabla 19 muestra los consumos diarios de cal son de 2000 kg/día (1.81 kg por cada m<sup>3</sup> tratado), de Ácido clorhídrico es de 240 l/día (15.12 ml por cada m<sup>3</sup> tratado), y de Floculante es de 24.28 kg/día (146.09 g por cada m<sup>3</sup> tratado), respectivamente.

Tabla 20:

Parámetros fase Neutralización- Oxidación

**VARIABLES DEL PROCESO**

**RANGO**

<b>Neutralización de aguas ácidas</b>		
Neutralización de drenajes de aguas ácidas	Reactivo	Cal
Gasto	kg`h	30.63
pH de trabajo	pH	7.8
Tiempo de residencia de neutralización	Min	23
Capacidad operativa de tanque de neutralización	m3	18
<b>Oxidación de drenajes ácidos</b>		
Oxidación de drenajes ácidos	Reactivo	Aire
Tiempo de residencia de oxidación	Min	23
Capacidad operativa de tanque de oxidación	m3	18

**Fuente:** Empresa Minera

Como se puede apreciar en la tabla 20, la empresa trabaja bajo ciertos rangos para las estaciones de neutralización y oxidación (Consumos, tiempos, pH y capacidad).

Tabla 21:

*Variables de Clarificación.*

<b>VARIABLES DE LA ETAPA DE CLARIFICACIÓN</b>		
<b>VARIABLES DEL PROCESO</b>	<b>CONSIDERACIONES</b>	
<b>CLARIFICACIÓN DE SOLUCIONES</b>		
Clarificación de solución tratada	Reactivo	Floculante
Dosificación de floculante	Indicar	Solución al 0.1%
Gasto de floculante	m <sup>3</sup> /día	1.34
Bomba de solución tratada	Tipo	Sumergible
Clase de flujo	Tipo	Solución Clarificada

**Fuente:** Empresa Minera

En la tabla N° 21 se puede apreciar ciertas consideraciones que tiene la empresa respecto a la etapa de clarificación, proceso en que son de vital importancia reactivos como el floculante

que va precipitar lodos para luego ser filtrados y con dicha etapa el agua va tomando su forma y colorido original. Dicho proceso se logra siempre y cuando se respete los niveles de dosificación y se siga los procesos de preparación adecuado, pues es un material solido que para que realice la precipitación tiene que prepararse muy bien la mezcla soluble.

#### **3.2.4. Efectividad de procesos**

Para el cálculo de la efectividad se tomó en cuenta los Parámetros de eficiencia y eficacia, siendo elementos inseparables de este indicador, en lo cual se consideró las diversas actividades o pasos que sigue el proceso de Tratamiento de aguas acidas.

Tabla 22:

*Secuencia de actividades del proceso de Tratamiento de Aguas Acidas*

N°	PASOS DEL PROCESO	Tiempo estándar estimado - Previsto	Tiempo real - Invertido (min)	Diferencia
1	Preparación de lechada de cal	15	20	5
2	Preparación de solución de floculante	10	15	5
3	Bombeo de agua acida (Pz - 11 )	5	5	0
4	Control flujo de entrada (Flujómetro)	2	2	0
5	Control de pH	2	2	0
6	Mezclado de agua acida y lechada de cal (Neutralización)	5	8	3
7	Control de pH	2	2	0
8	Mezclado de agua Neutralizada y lechada de cal (Oxidación)	5	8	3
9	Mezclado con solución de floculante (Reacción)	5	8	3
10	Mezclado con Ácido clorhídrico (Clarificación)	5	8	3
11	Toma de muestras	5	5	0
12	Bombeo de lodos	2	2	0
13	Filtración de lodos	10	30	20
14	Control de pH	2	2	0
15	Filtración de agua tratada (Filtro de arena)	8	10	2
16	Control de pH	6	6	0
17	Control flujo de salida (Flujómetro)	5	5	0
<b>Total</b>		94	138	44

**Fuente:** Elaboración Propia

En la tabla 22 se puede observar todos los procesos y actividades que se tienen en cuenta para el tratamiento de agua acida, teniendo en cuenta el tiempo que lleva cada una de ellas tanto el tiempo estandarizado por el diseño, como el tiempo que realmente se utiliza para la consecución de tales actividades.

Tabla 23:

*Cuadro de datos para el cálculo*

DATOS PARA EL	
CALCULO	RESULTADO
Resultado alcanzado	94
Resultado previsto	138
Supuesto Costo real	100000
Tiempo invertido	94
Costo previsto	1
Tiempo previsto	138

**Fuente:** Elaboración Propia

La Tabla 23 muestra los datos para el cálculo de estos tres indicadores de eficiencia, tomando en cuenta que para el costo real se toma un monto supuesto de costos anuales en todo lo que tiene que ver con el funcionamiento, mantenimiento y operación de planta.

$$Eficacia = \frac{Resultado\ alcanzado * 100}{Resultado\ Previsto} = \frac{94}{138} = 68.12\%$$

*Ecuación 7: Eficacia*

$$Eficiencia = \frac{RA/CA*CR}{RP/CP} = \frac{94/10000*94}{182/38} = 35.84\%$$

*Ecuación 8: Eficiencia*

$$Efectividad = \frac{\% de Eficiencia}{\% de Eficacia} = \frac{35.84\%}{68.12\%} = 52.61\%$$

En lo que respecta este indicador, según la tabla N°23 se obtuvo que la EFICACIA se ubica en un porcentaje de 68.12% (Lo cual significa que el 68.12% de procesos agregan valor al proceso de tratamiento), mientras que la EFICIENCIA abarca un porcentaje de 35.84% (Lo cual significa que no se está haciendo un uso eficiente de los recursos diversos que se usan y aplican en la PTAA) y finalmente la EFECTIVIDAD de los procesos resulto estar en un

porcentaje de 52.61%, lo cual significa que la efectividad mostrada en planta es buena pues está por encima del 50%, lo cual es un buen indicador en los procesos.

### 3.2.5. Flujos de entrada y salida

Tabla 24:

*Medición de entrada y salida de flujo diario*

Instrumento de medición	Capacidad de Planta	Unidad	Líquido (Diario)
Flujómetro de entrada	40	l/s	3,456.00 m <sup>3</sup>
Flujómetro de salida	0.034	m <sup>3</sup>	2,937.60 m <sup>3</sup>
Diferencia (Lodo y recirculación)	—		518.40 m <sup>3</sup> /día

**Fuente:** Elaboración Propia

Se realizó la medición de ambos flujos, resultando el flujo de entrada de 3 456 m<sup>3</sup> por día a un flujo de 40 l/s; y el flujo de salida a un flujo de 0.034 m<sup>3</sup>/ día, un agua tratada de 2 937.60 m<sup>3</sup>/día; resultando una diferencia de 518.40 m<sup>3</sup>/día, lo cual representa el lodo filtrado a las compresoras conjuntamente con el agua rechazada de la planta y reenviada a la poza de colección de la planta.

Tabla 25:

*Cálculo de la cantidad de lodo evacuado diariamente por la planta*

Descarga de lodos	Dato	
N° de descargas diarias	24	Descargas (Cada hora)
N° de compresores	20	Compresores
Peso aproximado de cada galleta	25	Kg
Cantidad total de lodo procesado (Por día)	12000	Kg

**Fuente:** Elaboración Propia

La tabla 25 muestra la cantidad de lodo evacuado por la planta de tratamiento luego del proceso de filtración de lodos, pues como se indicó anteriormente, parte del agua que entra a planta es convertida en lodo, por dos factores; primero el agua acida por naturaleza y su densidad misma arrastra lodos con metales diversos y este lodo es el que le da ese color.

Tabla 26:

*Capacidad de Planta Diseñada y Excedida*

	<b>Capacidad Diseñada (CD)</b>	<b>Capacidad Excedida (CE)</b>	<b>Unidad de Medida</b>
PTAA	40	60	l/s

**Fuente:** Elaboración Propia

Para el cálculo del caudal se tomó en cuenta la ilustración de la capacidad de diseño que representa la capacidad máxima, y también la capacidad extendida que representa la capacidad para tiempos de emergencia en tiempos de lluvias (entrada de flujo abundante y creciente). Por tanto, el ritmo de tratamiento normal, para el cual la planta ha sido diseñada es de 40 l/s, pero que por temas de emergencia y de falta de planificación, se eleva el flujo de tratamiento a un nivel de 60 l/s solo en tiempos de lluvias y de flujo creciente.

Tabla 27:

*Caudal Máximo y Caudal de Emergencia*

<b>Caudal Máximo Diario (en m<sup>3</sup>)</b>	<b>Factor de Seguridad (K)</b>	<b>Caudal de diseño (Contingencia) en m<sup>3</sup></b>
3,456.00	1.2	5,184.00

**Fuente:** Elaboración Propia

La Tabla 27 muestra el cálculo del caudal de agua acida tratada por día, tanto en su capacidad de diseño 3,456.00 m<sup>3</sup> como en su capacidad extendida de 5,184.00 m<sup>3</sup>, tomando en cuenta un tratamiento continuo. Analizar con las horas de operación semanal de parada.

Tabla 28:

*Volumen de aguas ácidas producidas por año*

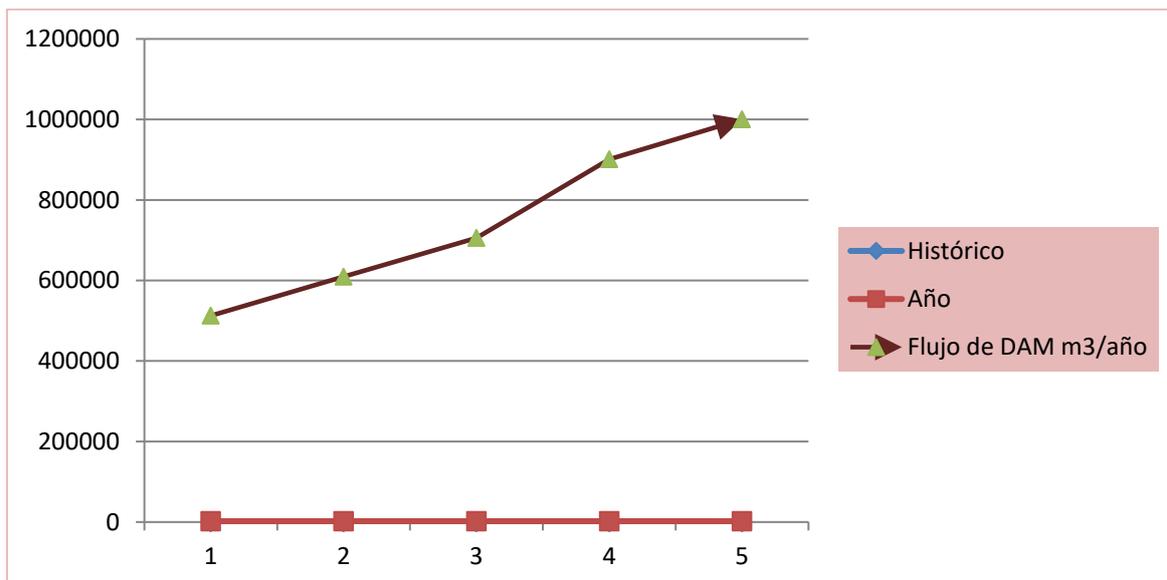
Año	DAM tratado por año m <sup>3</sup>	pH Ingreso a Planta	Ratio CaO kg/M3
2016	512447.0	4.89	0.24
2017	609490.0	2.95	0.81
2018	705525.0	2.94	0.91
2019	901112.7	2.75	1.58
2020	1000437.7	2.9	1.59

**Fuente:** Elaboración Propia

La Tabla 28 presenta la cantidad de flujo tratado (Flujo de Salida), según la información recibida de la empresa desde los años 2016 – 2020. Además de ello en la tabla se puede apreciar el promedio anual de pH de entrada juntamente con las ratios promedio de consumo anual de óxido de calcio.

Gráfico 12:

*Ilustración del flujo de aguas acidas tratadas hasta 2020*



**Fuente:** Elaboración Propia

El Gráfico 12 ilustra claramente el aumento de aguas acidas en la zona de operaciones, pues la flecha de flujo de DAM indica que se ha experimentado un considerable aumento en el nivel de aguas que llegan a planta y por lo mismo, el nivel de aguas acidas tratadas en la planta desde el año 2016 en la empresa minera.

### 3.3. Cálculo de Indicadores –Variable Dependiente

#### 3.3.1. Nivel de acidez

Dentro de los parámetros necesarios que se consideran para el tratamiento de agua de mina o también considerados drenajes de aguas de mina, están los Límites Máximos Permisibles (LMP), que son medidas o indicadores que se tiene que respetar y tratar el agua según lo indicado en el parámetro para cada elemento metálico presente en el agua acida.

Tabla 29:

Límites Máximos Permisibles

Parámetro	Unidad	Limite en Cualquier Momento	Límite para el Promedio Anual
pH		6-9	6-9
TSS	Ppm	50	25
Aceites y Grasas	Ppm	20	16
Cianuro Total	Ppm	1	0.8
Arsénico Total	Ppm	0.1	0.08
Cadmio Total	Ppm	0.05	0.04
Cromo Hexavalente (*)	Ppm	0.1	0.08
Cobre Total	Ppm	0.5	0.4
Hierro (Disuelto)	Ppm	2.0	1.6
Plomo Total	Ppm	0.20	0.16
Mercurio Total	Ppm	0.002	0.0016
Zinc Total	Ppm	1.5	1.2

**Fuente:** Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Ministerio Nacional del Ambiente

En la Tabla 29 se puede apreciar los parámetros, la unidad de medida de cada parámetro y el límite para cada sustancia o elemento como medida en cualquier época y como límite para todo el año. Si el parámetro pasa ese límite se estaría atentando contra la norma y contra el medio ambiente mismo, allí la importancia del uso de estos parámetros.

Tabla 30:

*Parámetros para la formación de aguas acidas*

Parámetro	Valor	Característica
pH	< 5.6	Lluvia ácida
	5.60	Valor normal de la lluvia
	> 5.6	Lluvia básica
Conductividad	>20 psi/cm	Lluvia ácida
Sulfatos	1 -3 mg/L	Zona de Baja Contaminación
	3 -6 mg/L	Zona de alta Contaminación
Nitratos	0.4 - 1.3 mg/L	Zona de Baja Contaminación
	1.3 - 3 mg/L	Zona de Alta Contaminación

**Fuente:** Elaboración Propia

Resulta de vital importancia tener en cuenta como se forman las aguas acidas y cuáles son los parámetros para considerar un tipo de agua acida o básica según corresponda; es por ello que la Tabla 30 muestra los parámetros, el valor y la característica de cada tipo de agua según el parámetro aplicado. Todo ello porque se es bastante conocido que existen aguas acidas de carácter natural y aguas acidas de carácter minero o también denominados drenajes de ácidos mineros, estos últimos están es análisis en la presente investigación y se forman generalmente por el movimiento de tierras, tierras que generalmente poseen un alto contenido de sulfatos y nitratos, por tanto su ubicación como son los tajos y depósitos

mineros diversos representan zonas de alto nivel de contaminación según su ubicación y es por eso que en áreas de operación minera, las suelen tratar para reducir el impacto ambiental de estos drenajes sobre los ecosistemas circundantes.

Tabla 31:

*Análisis Químico DAM – EMH y límites de descarga*

<b>Parámetro</b>	<b>Agua Acida de Mina</b>	<b>Limite Permisible</b>
pH	2.8	6-9
Conductividad, uS/cm	1,740	-
Solidos Disueltos, mg/l	3,326	-
Solidos Suspendidos mg/l	-	60
Potencial Redox, Mv	429	-
Arsénico, mg/l	0.76	1
Cadmio, mg/l	4.2	0.3
Cobre, mg/l	2.87	1
Hierro, mg/l	491.39	1
Plomo, mg/l	0.43	0.6
Zinc, mg/l	118.65	3
Sulfatos, mg/l	1492.7	-

**Fuente:** Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Ministerio Nacional del Ambiente

En la Tabla 31 se pueden apreciar otros parámetros, bastante similares a los de las tablas mostradas anteriormente, pero ésta está referida a los parámetros de descarga, es decir qué parámetros debe cumplir el vertimiento o punto donde se suele calcular el flujo de salida, considerando el parámetro el agua de mina y el límite permisible con el que debe descargarse hacia el medio ambiente.

Tabla 32:

*Toma de muestras en los distintos puntos del proceso.*

<b>Lugar</b>	<b>Consideración Dentro del Proceso</b>	<b>PH</b>
Pz - 11 (Entrada)	Antes	3.52
Tanque reactor	Durante	9.36
Pz - 12 (Salida)	Después	7.24
Vertimiento E12	Descarga al MA	7.12

**Fuente:** Elaboración Propia

La Tabla 32 muestra los resultados obtenidos de la toma de muestras en la planta de tratamiento de aguas acidas, considerando su pH inicial de 3.53, luego se hizo otra toma durante el proceso en el tanque de reacción con pH de 9.36, después se hizo otra toma de nivel de pH a la salida en la Pz 12b con un pH de 7.24 y finalmente se hizo otra toma de muestra en el vertimiento E12 o punto de descarga donde se obtuvo un pH de 7.12; este último resultado cumple los LMP pues está en el parámetro de pH de 6-9.

### 3.3.2. Calculo de nivel de metales

Tabla 33:

*Resultados de metales totales y disueltos en comparación con la reglamentación DS-004-2017-MINAM.*

	Método	AASTW	AASTW	AASTW	AASTW	AASTW	AASMD	AASMD	AASMD	AASMD	AASMD	AASCH	
	Analito	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	As	
	Unidad	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	ppm	ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	ppm	pH
	Min. Detección	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.002	
	Max. Detección												
	Agua Cabeza	54.15	20.45	1.533.50	19.3	0.09	50.33	20.33	1.415.80	18.4	0.01	5.26	2.25
1	General	0.07	0.04	0.94	0.01	0.12	0.6	0.03	0.5	< 0.01	< 0.01	0.038	11.41
2	m20	0.06	0.03	0.35	< 0.01	0.21	0.05	0.02	0.15	< 0.01	0.01	0.009	10.46
3	m50	0.18	0.06	5.81	0.05	0.06	0.17	0.05	5.74	0.04	< 0.01	0.123	10.67
4	m100	0.12	0.04	4.09	0.04	0.1	0.11	0.03	3.46	0.03	0.01	0.082	9.92
5	m200	0.06	0.03	0.4	0.01	0.1	0.05	0.02	0.39	< 0.01	0.01	0.021	11.05
6	m-200	0.1	0.05	0.89	0.05	0.15	0.09	0.04	0.88	0.04	0.01	0.028	9.76
	DS-004-2017-MINAM	0.2	2	5	0.2	0.05						0.1	6.5 - 8.4

**Fuente:** Laboratorio Químico de la Empresa

La Tabla 33 muestra los resultados obtenidos en el laboratorio y que arrojan los datos de la cantidad o nivel de metales en el agua de descarga, teniendo en cuenta siempre los LMP, pues según estos parámetros se trata el a agua acida. Como se puede apreciar en la tabla los resultados de las proporciones de los metales, tales como Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Plomo (Pb) y Arsénico (As).

### 3.3.3. Calidad del agua tratada

Tabla 34:

*Resultados de análisis de muestras tratadas actualmente*

Parámetro	Referencia	Unidad	Resultado Trat. Actual	LMP	ECAS
	EW-APHA4500HB-				
Ph	OPE	Ph	5.8	6-9	6.5-8.4
STD	EW-APHA2540C-CX	mg/Lt	2.814	25	-
Aluminio	EW-EPA200-8DIS	mg/Lt	5.6	-	5
Manganeso	EW-EPA200-8DIS	mg/Lt	1.224	-	0.5
Fierro	EW-EPA200-8DIS	mg/Lt	0.0548	1.6	5
Arsénico	EW-EPA200-8DIS	mg/Lt	0.00574	0.08	0.1
Cobre	EW-EPA200-8DIS	mg/Lt	0.38149	0.4	0.2
Plomo	EW-EPA200-8DIS	mg/Lt	<0.0006	0.16	0.05
Zinc	EW-EPA200-8DIS	mg/Lt	0.4336	1.2	2

**Fuente:** Informe SGS. De 12-01-2020

La Tabla N° 34 muestra los resultados de la toma de muestras en la planta de tratamiento de aguas acidas, en lo que concierne al cumplimiento de los parámetros que declara el Decreto Supremo N° 00-0022 del Ministerio de Ambiente, el cual indica cuales serían los **límites**

**máximos permisibles en lo que se refiere a los diversos metales contenidos en las aguas acidas tratadas en esta planta.**

Tabla 35:  
*Matriz de Operacionalización de Variables 2 – Resultados del diagnóstico*

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Diagnóstico
<b>Independiente</b>				
<b>Proceso de tratamiento de aguas acidas</b>	El tratamiento de aguas ácidas de mina, es el proceso consistente en	Capacidad de Planta	CD = FE* Tiempo de op. diario CE = FE* Tiempo de op. diario	CD = 3 456 m <sup>3</sup> CE = 5 184 m <sup>3</sup>
	agregar productos neutralizantes como la cal viva (CaO), que se activa con lechada de Cal y la	Operación de Planta (Tiempo)	$TRO = TO \text{ semanal} - TT \text{ Paradas}$	152.5 horas/sem
	dosificación de ácidos y floculante vitales para sedimentar los lodos formados, al término de dicho	Consumo de Reactivos Químicos	$CR = Cant. \text{ Reactivo} * \text{Tiempo de operación diaria}$	CaO = 2000 kg/día HCl = 240 l/ Floculante=24.84 kg/día
	proceso, el agua ácida es dirigida al reactor luego es guiada y filtrada el	Eficiencia y Eficacia	$Eficiencia = \frac{RA/CA * CR}{RP/CP}$	Eficiencia =35.84% Eficacia =68.12%
	agua ácida hasta lograr un valor del pH que oscila entre 10 y 10,5; y arrojada al medio ambiente con pH>7. (Chipana, 2019).	Efectividad	$E = \frac{\% \text{ de Eficiencia}}{\% \text{ de Eficacia}}$	Efect. = 52.61%

**Fuente:** Elaboración Propia

Continúa...

Viene de la página anterior

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Diagnóstico
<b>Dependiente</b>				
<b>Disposición final</b>	Desde el punto de vista de las fuentes de generación, podemos definir que la disposición final es la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes de diferentes actividades. (Metcalf, 1995)	Nivel de acidez (EyS)	$Ph = -\log (H+)$	pH E = 3.52 pH S = 7.24
		Calidad del agua Tratada	Muestras de Laboratorio (mg/l)	Al= 5.6; As = 0.0057 Mn = 1.224; Pb = 0.0006 Cu = 0.381; Fe = 0.0548 Zn = 0.433
		Nivel de Metales disueltos	Muestras de Laboratorio(Ppm)	Cu = 0.01 – As = 0.002 Zn = 0.01 Fe = 0.01 Pb = 0.01 Mn = 0.01
		Flujos o caudales (Q)	$Q = F * \text{Tiempo Operación diaria}$	$Q = 3,456 \text{ m}^3$

**Fuente:** Elaboración Propia

**Resultado N° 2:** Diseñar la propuesta de mejora para verificar el proceso de tratamiento de aguas acidas para la disposición final en una empresa minera en el norte del Perú

### 3.4. PROPUESTA DE MEJORA Y LOS PLANTEAMIENTOS

#### 3.4.1. Diseño de mejora del proceso de tratamiento de aguas

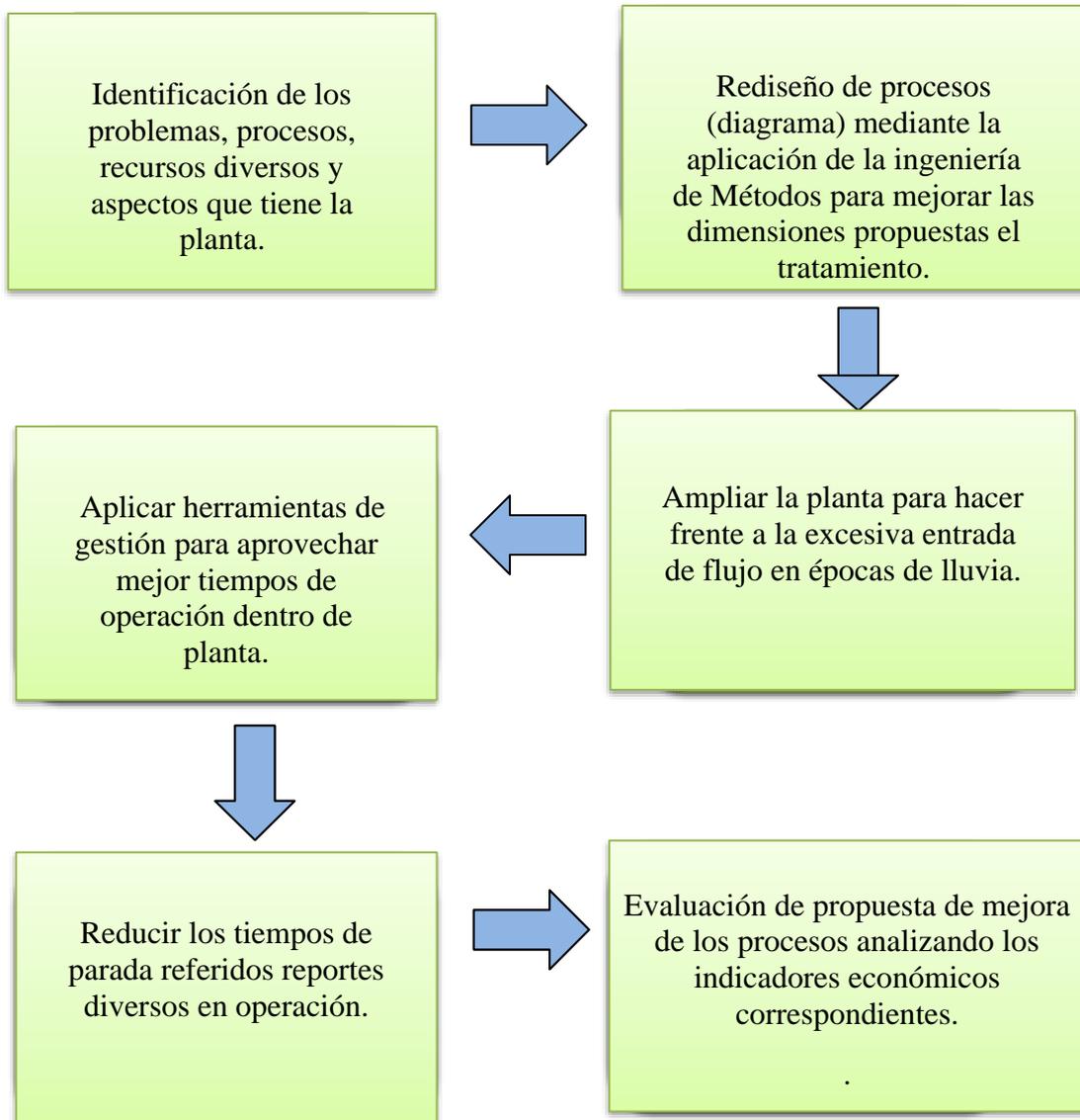


Figura 4:

#### *Propuesta de Solución*

**Fuente:** Elaboración Propia

La figura 4 muestra el planteamiento de la mejora de todos los aspectos observados y analizados anteriormente en el diagnóstico de la investigación. Ahora bien, para la

formulación de estos enunciados se tomó en cuenta la problemática analizada en la Matriz de Priorización de Problemas, de allí se obtuvo el Diagrama Pareto en donde se pudo analizar y ver cuáles son los más importantes y que tienen mayor implicancia en los procesos de la empresa, y que repercuten en la disposición final del tratamiento de aguas acidas.

A continuación, se procederá desarrollo y planteamiento de todas y cada una de las propuestas de mejora sonsacadas de la problemática analizada.

### **3.4.2. PROPUESTA DE REDISEÑAR LOS PROCESOS EXISTENTES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTOS (DIAGRAMA DE PROCESOS) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA DE MÉTODOS.**

Para la propuesta de mejora se considerará el rediseño de los procesos observados y plasmados en la Figura N° 2, la cual muestra todos los procesos por los que atraviesa el agua acida para lograr una calidad que cumpla con los parámetros exigidos por los LMP, los cuales regulan la calidad con la que el agua de mina es tratada y descargada al medio ambiente. Para la aplicación de dicha propuesta hace falta el rediseño de etapas del proceso, tales como la ampliación de la poza de colección principal, la implementación de un área de control de calidad antes de que los reactivos entren a almacén, el uso de bombas loderas para mejorar la entrada de flujo a planta y finalmente la automatización cuasi total de la plata para reducir tiempos de operación, considerados en esta propuesta y desarrollados a continuación:

#### **3.4.2.1. Limpieza de poza principal de colección de aguas acidas que alimenta la planta.**

En tal sentido con el rediseño se persigue optimizar los resultados y mejorar los procesos, en los que inciden operadores, reactivos químicos y parámetros específicos. Es por ello que

resulta de gran importancia un rediseño de procesos, empezando por el aumento de capacidad de la poza de colección, mediante la limpieza de lodos, pues esta poza agrupa todas las aguas acidas que discurren o son bombeadas de las diversas pozas de colección menores. De esta forma se podría ir acumulando la mayor cantidad posible de líquido ácido, de tal forma que esta agua sea tratada respetando los diseños de la planta, para no recircular residuos líquidos no tratados o aumentar la capacidad de tratamiento de la planta. Y aparte de ello, esa agua acumulada podría ser tratada en los tiempos de sequía o escases de aguas en la zona, pues como se ha observado en el historial de flujos tratados de la planta, estos se reducen en los meses de junio a setiembre, conllevando a una parada obligatoria de planta por falta de DAM, pues en estas temporadas se reducen, y con esta técnica se podría tratar a un ritmo normal.

#### **3.4.2.2. Implementación de un área de control de calidad de reactivos.**

Otro de los puntos claves en la mejora de procesos, sería la implementación de un área de control de calidad de reactivos químicos, cuando estos llegan a planta, pues se sabe que si estos reactivos son de mala calidad (que frecuentemente se presenta en el óxido de calcio y los ácidos clorhídrico y Sulfámico respectivamente) inciden en el tratamiento, una cal de mala calidad retrasa el proceso pues demora en levantar el pH del agua acida, y un ácido clorhídrico de mala calidad retrasa o altera la precipitación de metales, mecanismo que es importantísimo en el tratamiento de aguas acidas.

Esta mejora también se puede observar como parte del proceso en la Figura N° 5 donde se muestra la ampliación de planta y se vislumbra claramente que luego de haber sido descargados los reactivos químicos pasan por un área de control de calidad para luego ser derivados al almacén y dispuestos para su posterior dosificación en las diversas estaciones

de la planta de tratamiento. Todo este procedimiento se ejecutará mediante una herramienta de gestión mostrada en el anexo 09.

Esta área dentro del proceso desempeñará un rol importantísimo dentro del proceso, pues se corroborará la calidad de los distintos insumos que inciden en el proceso de tratamiento, los cuales los hemos mencionado dentro de los indicadores básicos de la presente investigación. Para lograr tal calidad se evaluarán pruebas de cada insumo ya sea obtenidas cuando estos lleguen a planta o en todo caso para facilitar este proceso, se pedirá a los proveedores muestras de sus productos, avanzando así con el proceso de control de calidad, para en laboratorio determinar este parámetro.

Para probar la calidad de la cal, se harán pruebas de granulometría, de dicho análisis se puede concluir que la cal de menor granulación es la más apropiada para el tratamiento, pues reacciona más rápido y ocasiona menos problemas en planta (referencia de 80% malla 100). Al margen de ello, se sigue probando todas las muestras a fin de determinar su eficiencia o ratio de alcalinización, pero en caso de seleccionadas deberá requerirse al proveedor ajustar la granulometría.

Para el caso del floculante se realizará un procedimiento bastante similar al anterior, tan solo que acá se puede medir reactividad con respecto al agua alcalinizada, es decir, se podrían tomar muestras de agua acida con pH que fluctuó entre pH 3 a 10.5 con lechada de cal, realizando el proceso de floculación en concentraciones distintas. Ni bien el floculante toma contacto con el agua alcalinizada, se toman datos cualitativos y cuantitativos de distintos parámetros como la velocidad de sedimentación y el nivel de turbidez, relacionados con la capacidad de arrastre de sólidos en suspensión y la consistencia del lodo y su compactación del precipitado y el total de metales disueltos en la mezcla.

De la misma manera se procederá con el tema del ácido clorhídrico, pues a través de pruebas de reactividad en muestras de agua, respecto a la disolución de metales y la precipitación de lodos, considerando tiempos básicamente y otras consideraciones referidas a el cuidado de la planta, ya que grandes cantidades de este reactivo podrían ocasionar daños en la planta y cada uno de sus componentes.

#### **3.4.2.3. Uso de bombas loderas en los procesos de bombeo de aguas acidas de la poza colección principal.**

Uno de los equipos importantes dentro de todos los procesos son las bombas, de estas depende su gran parte de todo el tratamiento, y como el agua acida generalmente trae lodo consigo, es importante que estas sean bombas loderas, para que puedan realizar bien su función, porque a al ser de agua y bombear agua con lodo se estaría saltando el diseño para el que fue diseñada. Con esto se podrían mejorar muchos de los procesos.

Otro de los procesos que se podría implementar es el de una estación más grande de filtración de lodos, esto implica bombas loderas de mayor potencia, compresores de mayor capacidad y con respuesta automática de menor tiempo. De esta forma se avanzaría con la filtración de lodos y solidificación final, teniendo mayor capacidad para tratar líquido y a la vez evacuar lodos con mayor proporción y en un menor tiempo. Todo ello con el fin de no caer en problemas como los que se puede apreciar en el anexo 12, donde se muestra gran parte de la poza principal con presencia de lodo.

#### **3.4.2.4. Mantenimiento a la Automatización de ciertos procesos importantes.**

Un último proceso que es importante también y de hecho ayuda muchísimo en reducir la mano de obra es la automatización total o en su mayoría de la planta para reducir fallas y

problemas relacionados con operación de planta; además con ello se busca reducir los gastos operacionales, puesto que el manejo de dicha planta demandaría de mucha mayor cantidad de personal para cada proceso, lo que las maquinas reducen dichos recursos, solamente incurriendo en gastos de insumos químicos necesarios para el tratamiento y equipos importantes dentro del proceso de tratamiento de aguas acidas procedentes de la actividad minera.

Esto es importante porque existen procedimientos que no están automatizados como es el caso de la dosificación de floculante y de ácido clorhídrico, dichos procesos o se han malogrado los sistemas por la delicadeza de los materiales o simplemente no están automatizados y retrasan el proceso, puesto que necesitan del operador o del ayudante en la mayoría de los casos para su dosificación y su vertimiento a los tanques diversos que están diseñados.

Todas estas mejoras se traducirán en un óptimo tratamiento, respetando y siguiendo los procesos, con lo cual como resultado vamos a tener un agua tratada de mejor calidad, es decir de acuerdo a los parámetros de los LMP y con niveles tanto de cloro como de metales, bajo o totalmente nulo. Ver Anexo 05 para contrastar el rediseño de procesos en el flujograma original que se manejaba antes de la mejora en la planta.

De todas estas sub propuestas se completa la propuesta principal del rediseño de procesos mediante el uso de la ingeniería de métodos como herramienta principal para identificar las fases de un proceso, ordenarlas de la mejor forma e implementar cambios y mejoras en bien de una mejor consecución de todos y cada uno de los procesos; logrando determinarse estas mejoras en un Diagrama de Procesos amplificado y mejorado, el cual se muestra a continuación en la Tabla 37 como resultado de los cambios y mejoras en los procesos de tratamiento de aguas acidas dentro y fuera de la planta.

Tabla 36:

*Diagrama de procesos para la PTAA luego de la mejora*

DIAGRAMA DE PROCESOS		Operación	Inspección	Transporte	Almacenaje
N°	Procesos a Evaluar				

1	Descarga de Reactivos químicos	X	
2	Control de calidad de reactivos químicos	X	X
	Traslado de reactivos clasificados a		
3	almacén		X
4	Almacenaje de reactivos		X
5	Preparación de lechada de cal	X	
6	Preparación de solución de floculante	X	
7	Bombeo de agua acida (Pz - 11 )	X	
8	Control flujo de entrada (Flujómetro)		X
9	Control de pH		X
10	Mezclado de agua acida y lechada de cal (Neutralización)	X	
11	Control de pH		X
12	Mezclado de agua Neutralizada y lechada de cal (Oxidación)	X	
13	Mezclado con solución de floculante (Reacción)	X	
14	Mezclado con Ácido clorhídrico (Clarificación)	X	
15	Toma de muestras	X	X
16	Carga para filtración de lodos	X	
17	Descarga de lodos comprimidos	X	
18	Filtración de lodos	X	
19	Control de pH		X
20	Filtración de agua tratada (Filtro de arena)		X
21	Control de pH		X
22	Monitoreo flujo de salida (Flujómetro)	X	X

**Fuente:** Elaboración Propia

Como se puede apreciar muy bien en el diagrama de procesos de la Tabla 36, se han implementado o rediseñado ciertos procesos, como el de calidad, traslado de los reactivos que pasaron los controles de calidad al almacén, para su ordenamiento y disposición de

materiales de forma que no obstaculice los espacios (Pachón, 2014), buscando ubicar todos los reactivos en el almacén, pues teniendo en cuenta que todos estos materiales son reactivos al medio ambiente, mucho más la cal, y si esta tiene contacto con la lluvia se altera y ya es posible que no reaccione con el agua acida. Por tanto, estos son procesos importantes para que luego no haya reincidencias en lo que son las paradas de planta. Posteriormente en los procesos de mezclado de la cal con el agua tratada para su dosificación posterior, se tendrá en cuenta los tiempos y parámetros que Mina ha fijado para tales procesos, incidiendo mucho en lo que son los controles de pH y los flujos de entrada y salida para no tener problemas posteriores con el tratamiento.

### **3.4.3. PROPUESTA DE AMPLIACIÓN DE PLANTA Y OTRAS TÉCNICAS PARA REDUCIR LA EXCESIVA ENTRADA DE FLUJO.**

Para la propuesta de mejora se considerará la ampliación de planta y otras técnicas para reducir la excesiva entrada de flujo. Todo ello, porque como se analizó en la problemática, en tiempos de lluvias aumenta el DAM y es casi imposible tratarlo o al menos controlarlo mediante el sistema de pozas con el que cuenta la empresa. En tal sentido, para hacer frente a esta realidad climática y temporal, pero que se repite anualmente, la propuesta es ampliar planta, para que esta tenga la capacidad de tratar el flujo circulante en tiempos de lluvias, puesto que la actual planta de tratamientos no abastece en tratar toda el agua o todo el flujo que llega a la poza principal. De esta forma se podría tratar la cantidad de agua que llegase a un flujo mayor a 40 l/s sin tener problemas de recirculación de lodos o problemas en la disposición final del proceso de filtración de lodos.

La ampliación de planta estaría dada por la implementación de tanques de neutralización y oxidación, con ello se tendría una mayor capacidad de tratamiento y toda el agua que llega

en tiempos de lluvia podría ser tratada, sin necesidad de forzar y alterar los flujómetros, los procesos y los parámetros que se manejan en el tratamiento de aguas.

Otro mecanismo de reducción de entrada de flujo, es la segregación de aguas de contacto y no contacto, esto se aplica y la empresa lo ha aplicado, en depósitos de material removido, tajos y otros puntos donde se generan las aguas acidas de mina. Esto se aplica cubriendo las partes donde han existido o existen trabajos de remoción de tierras, de esta forma, el agua de lluvia discurre por encima de geomembranas u otros materiales resistentes al clima y a las inclemencias del aire libre; de esta forma el agua de lluvia se considera de no contacto y es captada y desviada al medio ambiente por el hecho que no haber tenido contacto con tierras movidas. Ahora bien, el agua que discurre de la parte inferior, producto de la humedad y por efecto de las lluvias, es captada y dirigida a pozas que van colectando solamente agua acida de contacto, denominada así por haber tenido contacto con material minero que han sido almacenados o removidos, producto de la actividad minera de tajo abierto, tal cual se puede ver en el anexo 13.

Además, para reducir la demasiada entrada de flujo, como ya lo mencionamos, la ampliación de la poza principal de colección y otras pozas que están cercanas a la poza y que sirven de contingencia, de esta forma se acumularía la mayor cantidad de agua posible y que podría tratarse en los meses de sequía y escasos o disminución de DAM. Y bien, con esta propuesta de la ampliación de planta e impermeabilización de los depósitos de material con geomembranas (Anexo 13). Así como se muestra en la Figura N° 5 quedaría la planta y también con las mejoras al flujograma mostrado en el Anexo 05.

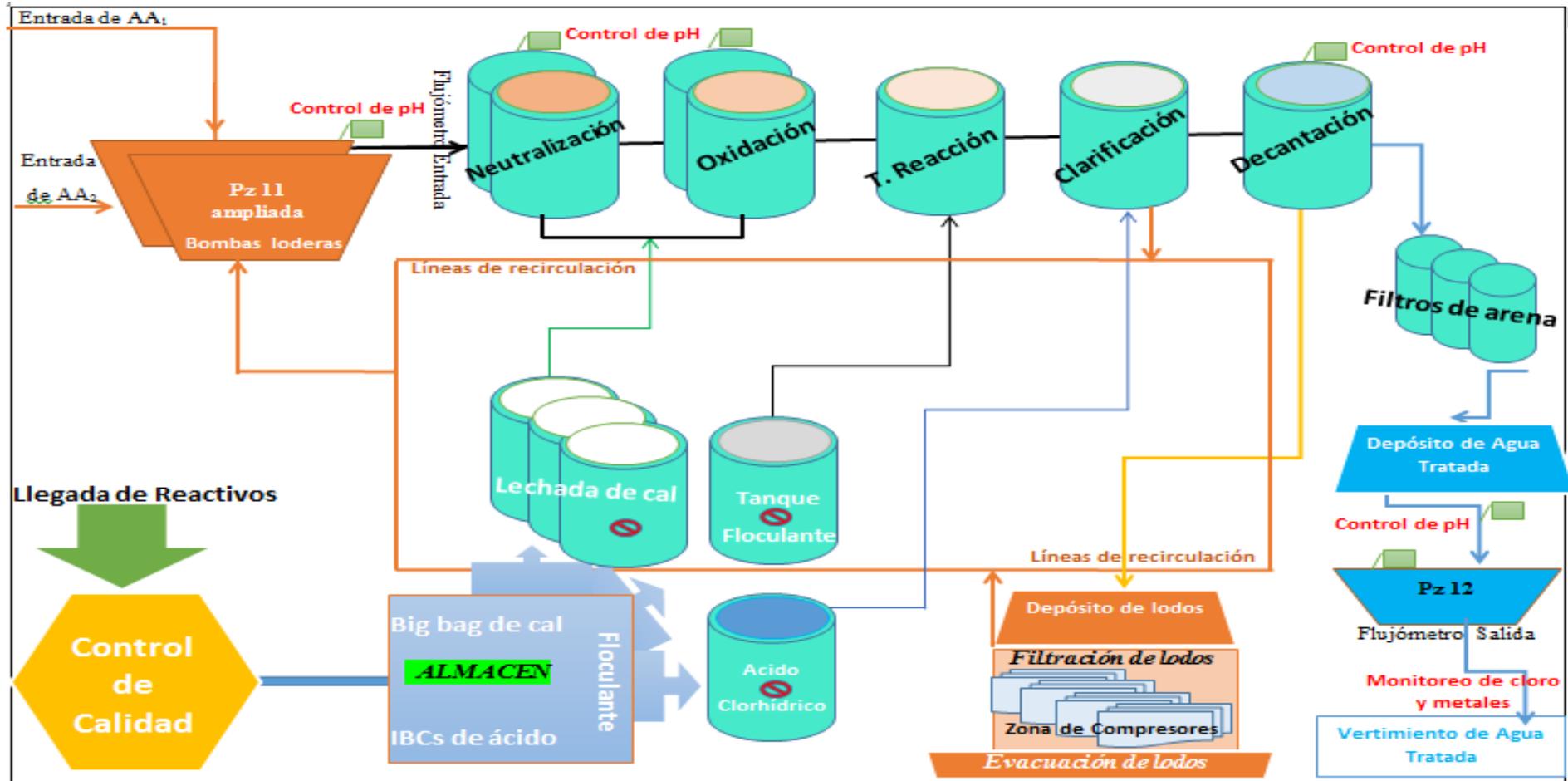


Figura 5:

*Propuesta de Solución – Ampliación de Planta*

**Fuente:** Elaboración Propia

La Figura N° 5 muestra claramente el rediseño de procesos conjuntamente con la ampliación de planta, este esquema a diferencia de lo mostrado en la Figura N° 2, acá se puede visualizar una planta mucho más amplia (Un tanque más de neutralización y oxidación , respectivamente) y ordenada, con procesos que van ayudar a que el líquido tratado sea de mejor calidad, pues se va tener que usar insumos que pasan por un área de calidad, además de ello, el operador no va tener problemas con que la cal no reaccione rápido o que los otros insumos no corroboren con la precipitación de metales, cuya función es su objetivo principal. Además de ello, todo el proceso va estar monitoreado por el control electrónico del pH y al final del proceso se va corroborar el nivel de metales y cloro en el agua, cumpliendo con los parámetros de los Límites Máximos Permisibles de la normativa reglamentario.

#### **3.4.4. PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS Y SUCESOS QUE INCIDEN EN PARADA DE PLANTA MEDIANTE GESTIONES ADMINISTRATIVAS Y HERRAMIENTAS DE GESTIÓN.**

Para esta propuesta de mejora se considerará la reducción de los tiempos y sucesos que inciden en la parada de planta a través de gestiones administrativas como la asignación de un equipo de mantenimiento preparado y con disponibilidad para solucionar problemas en las diversas plantas que administra la empresa, de esta forma determinar menores tiempos en lo que respecta a reportes y la solución de estos reportes. Esta propuesta se lograría mediante planes administrativos de una mejor y pronta respuesta a paradas de emergencia, tal es el caso de una falla en bombas que podría hacer que planta pare obligatoriamente, cesando todo el proceso, lo cual representa una amenaza en lo que respecta a la llegada acumulación de aguas en épocas de invierno.

Con esta medida administrativa, que contaría con un equipo de mantenimiento pendiente de los problemas más críticos en planta, de esta forma tras la respuesta inmediata, se daría pronta solución a cualquier tipo de reporte que involucre partes importantes del proceso y que dejarían a la planta parada hasta que se dé solución al problema. Además de ello se lograría reducir las paradas puesto que los incidentes y fallas se solucionarían en un menor tiempo (Incidencia el nivel de preparación y respuesta del equipo de mantenimiento), y eso mismo daría pie a una prevención de posibles fallas desencadenadas de las fallas más principales.

#### **3.4.5. PROPUESTA DE MONITOREO Y APLICACIÓN DE CHECK LIST PARA EL SISTEMA DE TUBERÍAS Y VÁLVULAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.**

Para la propuesta de mejora se considerará el monitorio y la aplicación de check list para el sistema de tuberías y válvulas de la planta de tratamiento, esto con el fin de reducir los problemas por obstrucción de tuberías y válvulas, los cuales inciden en la mayoría de los casos en parada de planta, retrasando no solo el proceso sino incurriendo en mayores gastos de personal de mantenimiento y nuevas tuberías y válvulas que puedan reemplazar a las anteriores.

Este problema se podría hacer frente a través de un check list diario, es decir el operador o el ayudante podrían hacer esta labor cotidiana, revisando minuciosamente las líneas críticas donde generalmente suceden los “encalichamientos”, denominados así las obstrucciones de líneas diversas; de esta forma tras la verificación y cumplimiento del llenado del check list se podría trabajar tranquilamente, esto sería un plan preventivo, a través del cual se reduciría la obstrucción de tuberías y válvulas que inciden en la parada de planta.

Otro mecanismo que también se puede aplicar, es el que comúnmente se hace en planta, denominado “retrolavado”, el cual ya forma parte de los procedimientos, pero que en muchos casos por temas de presencia excesiva de DAM, se posterga o se elimina este procedimiento que debe ser diario y obligatorio por más de dos veces por guardia (3 veces al día). Este mecanismo incluso podría anotarse dentro del check list de verificación de líneas y válvulas. Esta mejora que estaría reflejada en un registro de retro lavados de planta, esto ya formaría parte del procedimiento, pues ayudaría a la prevención de obstrucciones por la alteración de los diversos reactivos, pues todos tienen la potencialidad de convertirse en sólidos y con ello ocasionar problemas en tuberías y válvulas. El formato elaborado para la presente mejora se lo puede visualizar en el anexo N° 06.

#### **3.4.6. PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE FALLAS DE OPERACIÓN A TRAVÉS DE LA CAPACITACIÓN CONSTANTE AL PERSONAL.**

Para esta propuesta de mejora se considerara la reducción fallas de operación a partir de la realización de capacitaciones al personal encargado de planta de los turnos diversos sobre cuestiones referidas a operación de planta, monitoreo de fallas, técnicas y estrategias de operación, técnicas de actuación del personal en casos de fallas en tuberías, acciones a tomar respecto a problemas con los insumos químicos, y cómo actuar ante eventualidades que atentan contra la salud del trabajador con respecto a los reactivos químicos frecuentemente usados en planta. Esto es importante pues no solo se cuida la salud e integridad del trabajador sino también se busca una mayor preparación para ayudantes y supervisores, porque muchas de las fallas van relacionadas con faltas de conocimiento del supervisor y un exceso de confianza por parte del operador de planta, tomando salidas erróneas en muchos casos.

Todo ello daría como resultado la reducción de fallas de operación de planta que termina en parada de la misma; pues una excelente preparación, capacitación y conocimiento por parte de los operadores no terminaría en parada, con lo cual ante un incidente o reporte y con

respuesta inmediata y el monitoreo continuo del equipo de mantenimiento preventivo, seria baja la posibilidad de fallas operacionales. Ver anexo N° 12 aplicado a esta mejora, con el fin de una mejor operación de planta.

### **3.4.7. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y APLICACIÓN DE FORMATOS OPERACIÓN DE EQUIPOS DE PLANTA**

Para la mejora en la operación de equipos dentro de planta el mantenimiento preventivo resulta de vital importancia ya sea para aumentar la disponibilidad operativa o también su vida útil dentro de la planta. Ahora bien, los equipos más importantes dentro de planta son las bombas, pues en gran parte y la mayoría de procesos las usan, en los cuales el mantenimiento busca aumentar el porcentaje de tiempo garantizado de bombeo de agua acida, lechada de cal, ácidos, floculante e incluso lodos en el área de filtración de los mismos; siendo de vital importancia y permitiendo así obtener una mayor cantidad de horas de funcionamiento de dichos equipos antes de un mantenimiento programado. Ver anexos 06, 07, 10 y 11; relacionadas con esta mejora administrativa.

### **3.5. Cálculo de Indicadores –Variable Independiente – Luego de la mejora**

Para el cálculo de la mejora en todos los indicadores se ha tomado en cuenta varios aspectos como el aumento de aguas acidas por el crecimiento de los proyectos, la información de datos crecientes y la información documentada en sus proyecciones de la empresa minera conjuntamente con las tesis que sirvieron como antecedentes.

#### **3.5.1.**

#### **3.5.2. Capacidad de Planta**

En lo que respecta la capacidad de planta, esto representaba un problema puesto que, en tiempos de lluvia, por el exceso de aguas acidas que llegaban a planta, la capacidad de diseño se alteraba y el proceso no se realizaba bien; ante ello se propuso la ampliación de la posa de colección y la ampliación de planta (tanques de oxidación, neutralización y lechada.

Tabla 37:  
*Capacidad de planta*

	<b>Capacidad Diseñada (CD)</b>	<b>Unidad de Medida</b>
Tope Max	45	l/s
Observación	x	l/s

**Fuente:** Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la tabla 37, la capacidad de diseño aumentó de 40 l/s a 45 l/s por las mejoras mencionadas, favoreciendo los resultados de los procesos de la planta.

Tabla 38:  
*Cálculo de la capacidad de planta*

<b>Tiempo de operación</b>	<b>Funcionamiento normal (a 45 l/s)</b>
1 min	2.70 m <sup>3</sup>
1 hora	162.00 m <sup>3</sup>
1 día	3888.00 m <sup>3</sup>

**Fuente:** Elaboración Propia

De acuerdo a los cálculos mostrados en la tabla 38, se puede apreciar claramente como la cantidad de agua tratada (m<sup>3</sup>) va aumentando a medida que se va subiendo la capacidad de diseño de la planta, sin forzarla a tratar a un flujo de emergencia, lo cual ocasiona problemas y otros gastos que le siguen a estos problemas.

### 3.5.3. Operación de Planta

En cuanto a lo que respecta a operación de planta, se propuso capacitaciones en operación, formatos de control e inspección de puntos específicos e importantes para la no incidencia en parada de planta y otros planes administrativos muy importantes para la consecución de los procesos, así obtener resultados aceptables, sujetos a la normativa ambiental.

Tabla 39:

*Funcionamiento diario y semanal de planta*

Consideraciones Operativas	Tiempo (Hrs)
Funcionamiento diario de planta	24
Funcionamiento semanal de planta	168

**Fuente:** Elaboración Propia

La planta de tratamiento está diseñada para estar en funcionamiento continuo las 24 horas del día, con paradas mínimas y necesarias, de contrario si no se presentasen incidentes debería estar operativa las 168 horas de la semana; ello con el fin de tratar la mayor cantidad de agua posible, pues el agua va discurriendo siempre, más aún en tiempos de lluvias donde se incrementa el bombeo de agua acida para no causar derrames ambientales de DAM.

Tabla 40:

*Listado de reportes semanales más comunes en planta*

REPORTES SEMANALES	Cantidad	Tiempo de Solución	Tiempo Total	Unidad
Parada por Fallas de operación	1	0.4	0.4	Horas (24 min)

				Horas (10 min)
Paradas de planta normal	1	0.17	0.17	
Parada por Problemas en válvulas y tuberías	0	0.5	0	Horas
Retraso por falla en reactivos (Mala calidad)	0	1	0	Horas
Parada por falla en bombas	1	1	1	Horas
				Horas (30 min)
Parada por encalichamiento de líneas	0	0.5	1	
Parada por Falta de materia prima	0	?	?	Horas
<b>Totales</b>	<b>3</b>	<b>3.57</b>	<b>2.57</b>	

**Fuente:** Elaboración Propia

En la Tabla 40 se pueden contrastar diversas mejoras en lo que es reducción de fallas, ello debido a que existe un control más riguroso de los procesos, partiendo desde los operadores que conocen a fondo todos los procedimientos, pues están capacitados y llevan un control más intensificado de puntos críticos como son el tema de los reactivos de mala calidad, el monitoreo de válvulas, tuberías y bombas; aspectos importantes en todo el proceso.

Tabla 41:

*Resultados obtenidos para el cálculo de tiempo real de operación.*

Resultados Obtenidos	Cantidad/Horas	Minutos
Cantidad de Reportes Semanales	3	–
Tiempo promedio de parada (En horas)	0.5	30

Tiempo Total de paradas (En horas)	2.57	154.2
------------------------------------	------	-------

**Fuente:** Elaboración Propia

Resultados obtenidos de la cantidad de reportes semanales, el tiempo promedio de parada y el tiempo total de paradas semanales.

$$TRO = \text{Tiempo total de operacion} - \text{Tiempo total de paradas}$$

$$\text{TiempoRealOperación} = 168 - 2.57 \text{ horas}$$

$$\text{TiempoRealOperación} = 165.43 \text{ horas}$$

Ciertamente las paradas de planta suelen ocurrir en diversas ocasiones y procesos de la misma, dentro de los más importantes, resaltan los de la tabla 40, donde se ha considera su incidencia semanal. De todo ello se ha determinado que en una semana, luego de la mejora probablemente sucederán 03 reportes de falla, conllevando un de tiempo de 2.57 horas (1h con 34 min), con un tiempo promedio de falla de 0.5 horas (30 min). De lo cual se puede decir que, de las 168 horas semanales de operación, solo 2.57 horas se destinan a la solución de fallas y se tiene que parar la planta. Es decir del 100% de horas (24 horas diarias) que la planta debe estar en funcionamiento, solo se dispone del 98.47% de porcentaje de horas para operación activa en el tratamiento.

### 3.5.4. Uso de Reactivos

Como la planta ha sufrido una variación en su capacidad de tratamiento, al aumentar dicho indicador también se ha incrementado su consumo y dosificación de reactivos químicos al agua acida, para cumplir con los parámetros exigidos por Mina y por ley.

Tabla 42:

*Consumo diario de Óxido de Calcio o Soda Caustica (Cal)*

DATO	CANTIDAD	UNIDAD
1 Bigbag por turno	1200	Kg
Cantidad dosificada		
aproximada diaria	2400	kg/día

**Fuente:** Elaboración Propia

La tabla anterior muestra que el consumo de cal se ha incrementado, pues es directamente proporcional a la cantidad de agua a tratar, es decir, al aumentar la capacidad de planta, va el Flujómetro va controlar más entrada de flujo, y para tratarla va ser necesaria el aumento de cal en un 0.5% diario a un promedio de 2400 kg/día.

Tabla 43:

*Consumo diario de Ácido Clorhídrico*

DATO	CANTIDAD	UNIDAD
Consumo aproximado por turno	150 l en 12h	l/h
Consumo por hora	12.5	l/h
Consumo por día	300	l/día
Consumo por mes	9000	l/mes

**Fuente:** Elaboración Propia

Igualmente, la tabla 43 muestra el incremento del consumo y dosificación del ácido clorhídrico debido a la entrada de una mayor cantidad de flujo a tratar; teniendo que dosificar a ritmo de 150 litros por cada 12 horas de tratamiento, llegando a un consumo mensual de 9 000 litros por mes.

Tabla 44:

*Consumo diario de Floculante*

DATO	CANTIDAD	UNIDAD
------	----------	--------

Cantidad aproximada dosificada	3 kg para 40 l	kg/l
Consumo diario		32.4 kg/día
Consumo mensual		972 kg/mes

**Fuente:** Elaboración Propia

De la misma forma, la tabla 44 indica un aumento en el consumo de floculante, dosificando a un ritmo de 3kg por cada 40 l de agua acida, llegando a un consumo mensual de 972 kg/mes (39 paquetes de 25kg); ello con el fin de lograr la floculación y obtener la precipitación de los metales en forma de lodo en la fase de clarificación.

Tabla 45:

*Consumo diario total de reactivos*

Agente	Consumo	Unidad	Consumo
Neutralizante	Diario		por m <sup>3</sup> tratado
Cal	2400	kg/día	1.512 kg/m <sup>3</sup>
Ácido Clorhídrico	300	l/día	12.096 ml/m <sup>3</sup>
Floculante	32.4	kg/día	112.00 g/m <sup>3</sup>

**Fuente:** Elaboración Propia

Según los cálculos de las tablas anteriores, la tabla 45 muestra los consumos diarios de Oxido de calcio son de 2400 kg/día, de Ácido clorhídrico es de 300 l/día y de Floculante es de 32.4 kg/día, respectivamente. También se realizó los cálculos del consumo por cada m<sup>3</sup> de agua tratada, por ejemplo en el caso de la cal, se aplica 1.52 kg/m<sup>3</sup>, del ácido clorhídrico su consumo es de 12.06 ml/m<sup>3</sup> y del floculante el consumo es de 112 g/m<sup>3</sup> de agua acida tratada en la planta.

### 3.5.5. Efectividad de procesos

El sistema de tratamiento de aguas acidas desde el inicio (Poza de colección) hasta su disposición final (Poza de precipitación) en el vertimiento hacia el medio ambiente está compuesto por los siguientes subsistemas o estaciones de procesos:

- ✓ Poza de colección
- ✓ Sistema de neutralización con cal y oxidación.
- ✓ Sistema de precipitación y clarificación.
- ✓ Sistema de dosificación de cal, ácido clorhídrico y floculante.

En cada una de las estaciones incurren diversos factores como es el caso de operación, reactivos químicos, procesos, técnicas y equipos. La tabla N° 46 detalla los principales procesos rediseñados algunos con la propuesta de mejora.

Tabla 46:

*Secuencia de actividades del proceso de Tratamiento de Aguas Acidas*

N°	PASOS DEL PROCESO	Tiempo estándar estimado	Tiempo real -	Diferencia
----	-------------------	--------------------------	---------------	------------

		- Invertido		
		Previsto	(min)	
1	Descarga de Reactivos químicos	10	20	10
2	Control de calidad de reactivos químicos	15	20	5
3	Traslado de reactivos clasificados a almacén	10	15	5
4	Almacenaje de reactivos	10	10	0
5	Preparación de lechada de cal	20	20	0
6	Preparación de solución de floculante	10	10	0
7	Bombeo de agua acida (Pz - 11 )	5	5	0
8	Control flujo de entrada (Flujómetro)	2	2	0
9	Control de pH	2	2	0
10	Mezclado de agua acida y lechada (Neutralización)	5	8	3
11	Control de pH	2	2	0
Mezclado de agua Neutralizada y lechada				
12	(Oxidación)	5	5	0
13	Mezclado con solución de floculante (Reacción)	5	5	0
14	Mezclado con Ácido clorhídrico (Clarificación)	5	8	3
15	Toma de muestras	5	5	0
16	Carga para filtración de lodos	30	30	0
17	Descarga de lodos comprimidos	10	10	0
18	Filtración de lodos	2	2	0
19	Control de Ph	8	10	2
20	Filtración de agua tratada (Filtro de arena)	6	6	0
21	Control de pH, Cloro, metales	10	10	0
22	Monitoreo flujo de salida (Flujómetro)	2	2	0
<b>Total</b>		<b>179</b>	<b>207</b>	<b>8</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

La tabla 46 se puede observar todos los procesos y actividades existentes y mejoradas que inciden en el tratamiento de agua acida, desde la fase en que el agua es captada por las diversas pozas de colección que alimentan la poza principal que abastece a la planta y los

procesos que involucra la planta, mostrando el tiempo estandarizado y el tiempo real aplicado para cada proceso, obteniendo los datos de la Tabla N°48 mostrada a continuación.

Tabla 47:

*Cuadro de datos para el cálculo*

DATOS PARA EL	
CALCULO	RESULTADO
Resultado alcanzado	179
Resultado previsto	207
Costo real	100000
Tiempo invertido	179
Costo previsto	1
Tiempo previsto	207

**Fuente:** Elaboración Propia

Con los resultados de la Tabla 47 muestra los datos para el cálculo de estos tres indicadores de eficiencia, tomando en cuenta que para el costo real se toma un monto supuesto de costos reales y previstos en todo lo que tiene que ver con el funcionamiento, mantenimiento y operación de planta.

$$Eficacia = \frac{Resultado\ alcanzado * 100}{Resultado\ Previsto} = \frac{179}{207} = 86.47\%$$

$$Eficiencia = \frac{RA/CA*CR}{RP/CP} = \frac{179/100000*179}{207/207} = 62.04\%$$

$$Efectividad = \frac{\% de Eficiencia}{\% de Eficacia} = \frac{62.04\%}{86.47\%} = 71.74\%$$

Según la tabla 47 se obtuvo un incremento en todos los parámetros de EFICACIA con un porcentaje de 86.47% (Lo cual significa que el 86.47% agrega valor al proceso de tratamiento), de EFICIENCIA con un porcentaje de 62.04% (Lo cual significa existe un mejor uso de los recursos diversos de planta) y de EFECTIVIDAD con un porcentaje de

71.74%, lo cual significa que la efectividad mostrada por los procesos de planta es buena pues está por encima del 50%, lo cual es un buen indicador.

### 3.5.6. Flujos de entrada y salida

Tabla 48:

*Medición de entrada y salida de flujo diario*

<b>Instrumento de medición</b>	<b>Capacidad de Planta</b>	<b>Unidad</b>	<b>Liquido tratado (Diario)</b>	
Flujómetro de entrada	45	l/s	3,888.00	m <sup>3</sup>
Flujómetro de salida	0.037	m <sup>3</sup>	3,456.00	m <sup>3</sup>
Diferencia (Lodo y recirculación)			432.00	m <sup>3</sup> /día

**Fuente:** Elaboración Propia

Se realizó la medición de ambos flujos, resultando el flujo de entrada de 3 888 m<sup>3</sup> por día a un flujo de 45 l/s; y el flujo de salida a un flujo de 0.037 m<sup>3</sup>/día, un agua tratada de 3 456 m<sup>3</sup>/día; resultando una diferencia de 432 m<sup>3</sup>/día, esto representa el lodo filtrado a las compresoras conjuntamente con el agua recirculada a la poza de colección de la planta.

Tabla 49:

*Cálculo de la cantidad de lodos (kg) evacuado por la planta*

<b>Datos Importantes</b>

<b>N° de descargas</b>		
<b>diarias</b>	32	Descargas
<hr/>		
<b>N° de compresores</b>	20	Compresores
<hr/>		
<b>Peso aproximado</b>		
<b>de cada galleta</b>	25	Kg
<hr/>		
<b>Cantidad total de lodo</b>		
<b>procesado (Por día)</b>	16000	Kg
<hr/>		

**Fuente:** Elaboración Propia

La tabla 49 muestra también un aumento en la evacuación de lodos, esto debido al aumento de la capacidad y a la eficiencia con la que esta opera cotidianamente. Si antes se lograba cargar la compresora de lodos en 1 hora, ahora se ha logrado hacer dos cargas por cada tres horas, logrando hacer 32 descargas diarias y evacuando un promedio de 16 toneladas de lodo diariamente.

Tabla 50:

*Capacidad de Planta Diseñada y Excedida*

	<b>Capacidad Diseñada</b>	<b>Capacidad Excedida</b>	<b>Unidad de Medida</b>
	<b>(CD)</b>	<b>(CE)</b>	
PTAA	45	60	l/s

**Fuente:** Elaboración Propia

En lo concerniente a los flujos de entrada, estos están relacionados con la capacidad de diseño de la planta, con las mejoras propuestas, la capacidad va variar de 40 l/s a 45 l/s; manteniendo su capacidad extendida (60 l/s) para las temporadas de lluvia y de aumento de nivel en la poza de colección principal.

Tabla 51:

*Caudal Máximo y Caudal de Emergencia*

<b>Caudal Máximo</b>	<b>Factor de</b>	<b>Caudal de diseño</b>
<b>Diario en m<sup>3</sup></b>	<b>Seguridad (K)</b>	<b>(Contingencia) en m<sup>3</sup></b>
3,888.00	1.2	5,184.00

**Fuente:** Elaboración Propia

La Tabla 51 muestra el cálculo del caudal de agua acida tratada por día con las mejoras, tanto en su capacidad de diseño 3,888.00 m<sup>3</sup> como en su capacidad extendida de 5,184.00 m<sup>3</sup>, (Se mantiene el mismo del diagnóstico). Ello sin tener en cuenta las paradas de planta.

Tabla 52:

*Proyección anual del aumento de caudal de aguas ácidas*

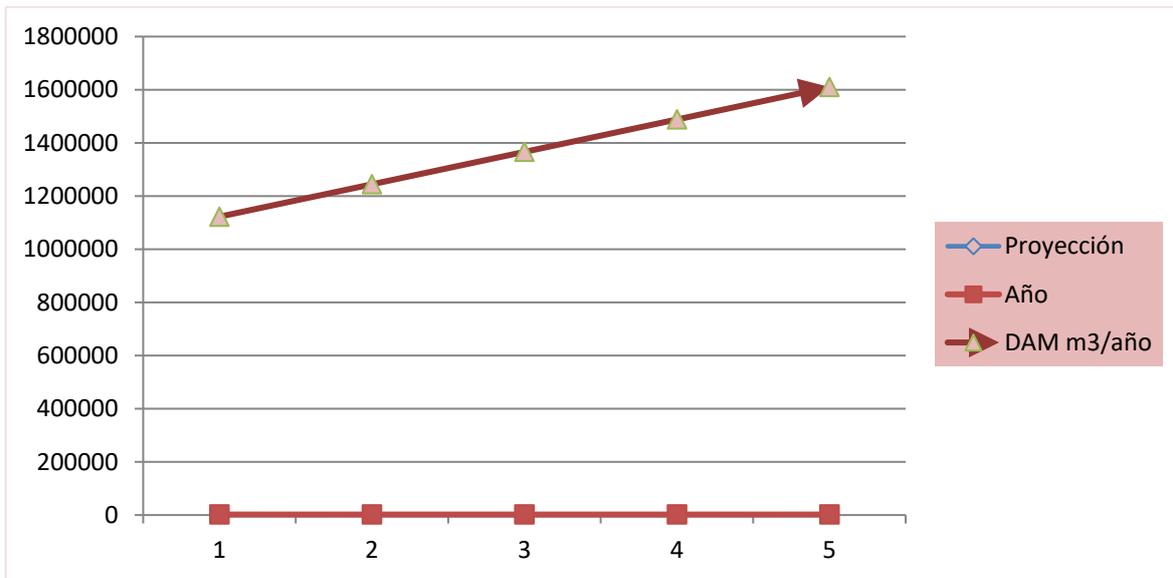
<b>Proyección</b>	<b>Año</b>	<b>DAM m<sup>3</sup>/año</b>
6	2021	1,122,435.33
7	2022	1,244,433.00
8	2023	1,366,430.67
9	2024	1,488,428.33
10	2025	1,610,426.00

**Fuente:** Elaboración Propia

La tabla N° 52 contempla la proyección del caudal para los años posteriores al 2020, ello de acuerdo a los datos históricos de los cinco años anteriores al 2021 (Ver Tabla 26), este pronóstico muestra que la generación de aguas acidas van a tener una tendencia ascendente en años posteriores.

Gráfico 13:

*Ilustración de la demanda proyectada*



**Fuente:** Elaboración Propia

La ilustración del Gráfico 13 muestra la proyección de aumento de aguas acidas en la zona de operaciones de la empresa para los siguientes años posteriores al 2020, es decir las aguas acidas tendrán un notable aumento a medida que vayan avanzando los proyectos dentro de la empresa minera.

### 3.6. Cálculo de Indicadores –Variable Dependiente

#### 3.6.1. Nivel de acidez

En cuanto al nivel de acidez, los resultados van a ser los mismos, quizá exista una variación mínima, pero esta se deberá generalmente a la presencia o escases de lluvias en la zona lo cual es indiferente pues depende de las condiciones climáticas que son bastante variables en la zona.

Tabla 53:

*Toma de muestras en los distintos puntos del proceso.*

<b>Lugar</b>	<b>Consideración Dentro del Proceso</b>	<b>PH</b>
Pz - 11 (Entrada)	Antes	3.52
Tanque reactor	Durante	9.36
Pz - 12 (Salida)	Después	7.24
Vertimiento E12	Descarga al MA	7.12

**Fuente:** Elaboración Propia

La Tabla 53 no muestra variación los resultados obtenidos del diagnóstico en la planta de tratamiento de aguas acidas, considerando su pH inicial de 3.53, luego se hizo otra toma durante el proceso en el tanque de reacción con pH de 9.36, después se hizo otra toma de nivel de pH a la salida en la Pz 12b con un pH de 7.24 y finalmente se hizo otra toma de muestra en el vertimiento E12 o punto de descarga donde se obtuvo un pH de 7.12; este último resultado cumple los LMP pues está en el parámetro de pH de 6-9.

### 3.6.2. Calculo de nivel de metales

Tabla 54:

*Resultados de metales totales y disueltos en comparación con la reglamentación DS-004-2017-MINAM.*

	Método	AASTW	AASTW	AASTW	AASTW	AASTW	AASMD	AASMD	AASMD	AASMD	AASMD	AASCH	
	Analito	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	As	
	Unidad	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	ppm	ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	ppm	pH
	Min. Detección	0.001	0.001	0.001	0.011	0.011	0.001	0.001	0.001	0.011	0.011	0.01	
	Max. Detección												
	Agua Cabeza	54.15	20.45	1.533.50	19.3	0.09	50.33	20.33	1.415.80	18.4	0.01	5.26	2.25
1	General	0.07	0.04	0.20	0.01	0.12	0.6	0.03	0.5	< 0.01	< 0.01	0.002	11.045
2	m20	0.04	0.02	0.35	< 0.01	0.21	0.05	0.02	0.15	< 0.01	0.01	0.009	10.46
3	m50	0.23	0.06	5.81	0.05	0.06	0.17	0.05	5.74	0.04	< 0.01	0.123	10.67
4	m100	0.12	0.04	4.09	0.04	0.1	0.11	0.03	3.46	0.03	0.01	0.082	9.92
5	m200	0.02	0.03	0.4	0.01	0.1	0.05	0.02	0.39	< 0.01	0.01	0.021	11.05
6	m-200	0.1	0.05	0.89	0.05	0.15	0.09	0.04	0.88	0.04	0.01	0.028	9.76
	DS-004-2017-MINAM	0.2	2	5	0.2	0.05	0.2	2	5	0.2	0.05	0.1	6.5 - 8.4

**Fuente:** Laboratorio Químico de la Empresa

La Tabla 54 muestra los resultados obtenidos en el laboratorio y que arrojan los datos de la cantidad o nivel de metales en el agua de descarga, teniendo en cuenta siempre los LMP, pues según estos parámetros se trata el agua acida. Como se puede apreciar en la tabla los resultados de las proporciones de los metales, tales como Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Plomo (Pb) y Arsénico (As).

### 3.6.3. Calidad del agua tratada

Tabla 55:

*Resultados de análisis de muestras tratadas actualmente*

Parámetro	Referencia	Unidad	Resultado Trat. Actual	LMP	ECAS
	EW-APHA4500HB-				
Ph	OPE	pH	5.8	6-9	6.5-8.4
STD	EW-APHA2540C-CX	mg/Lt	2.814	25	-
Aluminio	EW-EPA200-8DIS	mg/Lt	0.023	-	5
Manganeseo	EW-EPA200-8DIS	mg/Lt	0.01	-	0.5
Fierro	EW-EPA200-8DIS	mg/Lt	0.021	1.6	5
Arsénico	EW-EPA200-8DIS	mg/Lt	0.08	0.08	0.1
Cobre	EW-EPA200-8DIS	mg/Lt	0.023	0.4	0.2
Plomo	EW-EPA200-8DIS	mg/Lt	< 0.002	0.16	0.05
Zinc	EW-EPA200-8DIS	mg/Lt	0.10	1.2	2

**Fuente:** Informe SGS. De 12-01-2020

La Tabla 55 muestra los resultados de la toma de muestras en la planta de tratamiento de aguas acidas, en lo que concierne al cumplimiento de los parámetros que declara el Decreto Supremo N° 00-0022 del Ministerio de Ambiente, el cual indica cuales serían los **límites máximos permisibles en lo que se refiere a los diversos metales contenidos en las aguas acidas tratadas en esta planta.**

Tabla 56:

Matriz de Operacionalización de Variables 2 – Resultados diagnóstico y mejora

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Diagnóstico	Mejora	Comparación
<b>Independiente</b>						
<b>Proceso de tratamiento de aguas acidas</b>	El tratamiento de aguas ácidas de mina, es el proceso consistente en agregar productos neutralizantes como la cal viva (CaO), que se activa con lechada de Cal y la dosificación de ácidos y floculante vitales para sedimentar los lodos formados, al término de dicho proceso, el agua ácida es dirigida al reactor luego es guiada y filtrada el agua ácida hasta lograr un valor del pH que oscila entre 10 y 10,5; y arrojada al medio ambiente con pH>7. (Chipana, 2019).	Capacidad de Planta	CD = FE*T. Op. Diario CE = FE* T. Op. Diario	CD = 3 456 m <sup>3</sup> /Día = 3 888 m <sup>3</sup> /Día = 432 m <sup>3</sup> CE = 5 184 m <sup>3</sup> /Día = 5 184 m <sup>3</sup> /Día = 0 m <sup>3</sup>		
		Operación de Planta (Tiempo)	TRO = TO semanal – Tiem. Total Paradas	152.5 h/sem	165.5 h/sem	13 horas
		Consumo de Reactivos Químicos	CR = Cant. Reactivos * Tiempo de operación	CaO = 2000 kg/día = 2400 kg/día = 400 kg HCl = 240 l/día = 300 l/día = 60 l Floculante=24.84 kg/día = 32.28 kg/día = 07.44 kg		
		Eficiencia y Eficacia	$E = \frac{\text{Eficiencia}}{\text{Eficacia}} = \frac{RA/CA * CR}{RP/CP}$	Eficiencia =35.84% Eficacia =68.12%	Eficiencia =62.04% Eficacia =86.47%	=24.06% =30.35%
		Efectividad	$E = \frac{\% \text{ de Eficiencia}}{\% \text{ de Eficacia}}$	E = 52.71%	E = 71.74%	E= 12.04%

Fuente: Elaboración Propia

Continúa

Viene de la página anterior

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Diagnóstico	Mejora	Comparación
<b>Dependiente</b>						
	Desde el punto de vista de las fuentes de generación, podemos definir que la		$Ph = -\log(H^+)$			
	disposición final es la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes de diferentes actividades. (Metcalf, 1995)	Nivel de acidez (EyS)		pH <sub>E</sub> = 3.52 pH <sub>S</sub> = 7.24	pH <sub>E</sub> = 3.85 pH <sub>S</sub> = 7.18	=> 0.33 => 0.06
<b>Disposición final</b>		Calidad del agua Tratada	Muestras de Laboratorio	Al= 5.6; As = 0.0057 Mn = 1.224; Pb = 0.0006 Cu = 0.381; Fe = 0.0548 Zn = 0.433	Al= 0.023; As = 0.08 Mn = 0.01; Pb = 0.002 Cu = 0.023; Fe = 0.021 Zn = 0.10	
		Nivel de Metales Disueltos	Muestras de Laboratorio	Cu = 0.01 – As = 0.002 Zn = 0.01 Fe = 0.01 Pb = 0.01 Mn = 0.01	Cu = 0.001 – As = 0.01 Zn = 0.001 Fe = 0.001 Pb = 0.011 Mn = 0.011	
		Flujos o caudales (Q)	$Q = FE * \text{Tiempo Operación}$	Q = 3,456,00 m <sup>3</sup> /día	Q = 3,888.00 m <sup>3</sup> /día	=> 432 m <sup>3</sup>

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.7. ANÁLISIS ECONÓMICO/FINANCIERO

**Resultado N° 3:** Para la realización de un análisis económico/financiero para evaluar la viabilidad del diseño de procesos de mejora, se tomó en cuenta diversos factores dentro de la planta, que afectan tanto a la empresa minera como a la empresa contratada para la administración y operación de las plantas.

Como bien sabemos, la aplicación de la ingeniería en proyectos implica ciertos costos que van a incidir en compra de materiales para un mejor equipamiento de la planta, compra de insumos de mejor calidad para una excelente disposición final de las aguas tratadas, adquisición de nuevas válvulas y bombas para que los procesos no puedan fallar, obligando a las paradas innecesarias de planta, donde se pierden muchos recursos.

Otros gastos que inciden en este proyecto están relacionados con temas administrativos como son las capacitaciones al personal, pues personal que conoce los procesos y el área va obtener excelentes resultados que van a influir en la disposición final.

#### 3.7.1. Inversión inicial

Se hizo el análisis del costo del diseño de la propuesta de mejora en la planta de tratamiento de aguas acidas de la empresa minera, en la cual se pudo observar los siguientes resultados:

**Costos por procedimientos:** Los costos involucrados se vieron seleccionados debido a la necesidad de realizar verificaciones de procesos y equipos, control de insumos, y seguimiento de problemáticas frecuentes como paradas y obstrucciones de tuberías y válvulas, dichos costos se muestran en la Tabla N° 57 que se mostrará a continuación.

Tabla 57:

*Costos por procedimientos de ampliación de planta (equipos y herramientas)*

Descripción	Cantidad	Costo S/.	Total S/.
Tanques metálicos	2	7828.28	15656.56
Bombas loderas	2	6313.13	12626.26
compresor de aire para filtros de lodo	1	5350	5350
Tuberías de polietileno 2 pulg	10	18	180
Pernos m4x20 para ensamblaje de tanques metálicos	18	2.3	41.4
<b>Total</b>			<b>33854.22</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Costos por incurrir en la operación de planta (2 trabajadores: Operador y Ayudante)**

Tabla 58:

*Costos por procedimientos de ampliación de planta*

Descripción	Cantidad	Costo S/.	Total S/.	Total anual S/.
<b>Operadores de planta</b>	1	1400	1400	16800
<b>Ayudantes de planta</b>	1	1200	1200	14400
<b>Equipos de protección personal (Epp básico y específico)</b>	10	30	300	3600
<b>Total</b>			<b>2900</b>	<b>34800</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Costos en capacitaciones anuales:** Para realizar un correcto desarrollo de gestiones administrativas, operativas y preventivas es necesario desarrollar una capacitación que

permita al personal estar preparado para su papel, dichos costos involucran el pago de los honorarios del capacitador, a continuación, se mostrará en la Tabla N° 59 el costo relevante a este.

Tabla 59:

*Costos en capacitaciones anuales*

<b>Temas</b>	<b>N° de capacitadores</b>	<b>Tiempo horas</b>	<b>Costo S./hora</b>	<b>Total anual S/.</b>
Capacitación en operación de planta	1	3	250	750
<b>Total</b>				<b>750</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

**Costos por implementos:** Los presentes costos involucran todo material necesario que permita complementar la capacitación del personal de operación de planta, estos costos se pueden apreciar en la Tabla 60.

Tabla 60:

*Costos por implementos*

<b>Implementos</b>	<b>Costo de material S/.</b>	<b>N° de trabajadores</b>	<b>Total anual S/.</b>
Material informativo (Trípticos)	2	3	6
Videos	2	3	6
Diapositivas	2	3	6
<b>Total</b>			<b>18</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

**Costos en material de registro:** Para realizar el plan de gestión de tiempos y procesos, reduciendo fallas, paradas y costos en adquisición de reactivos es necesario contar con material de registro que permita facilitar la inspección y proceder del plan de mantenimiento preventivo propuesto, dichos formatos van dirigido tanto para el registro de capacitaciones sobre operación de planta, para lograr las mejoras planteadas y concretadas con los costos mostrados en la Tabla 61 donde se verán los costos que incurren en dichos formatos.

Tabla 61:

*Costo en material de registro*

Descripción	Cantidad	Costo S/.	Total anual S/.
Formato de registro de capacitaciones de operación de planta	1	2	2
Formato de Reporte de fallas en planta	1	2	2
Formato de Reportes de consumo diario de reactivos	1	2	2
Formato de control de calidad de reactivos químicos	1	2	2
Formato verificación de tuberías y válvulas	1	2	2
Formato verificación y control de procesos semanales	1	2	2
<b>Total</b>			<b>12</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

**Costos por incurrir en la propuesta de mejora:** Para realizar nuestro diseño de mejora es necesario invertir en los siguientes costos mostrados en la Tabla N° 62.

Tabla 62:

*Costos por incurrir en la propuesta de mejora*

<b>COSTOS POR INCURRIR EN EL PROCESO</b>	<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
Tanques metálicos de 3 m de alto por 2 de ancho	15,656.57	...	...	...	...	...
Bombas loderas	12,626.26	12,626.26	12,626.26	12,626.26	12,626.26	12,626.26
compresor de aire para filtros de lodo	5,350.00	5,350.00	5,350.00	5,350.00	5,350.00	5,350.00
Tuberías de polietileno 2 pulg.	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00
Pernos m4x20 para ensamblaje de tanques metálicos	41.40	41.40	41.40	41.40	41.40	41.40
Operadores de planta	16,800.00	16,800.00	16,800.00	16,800.00	16,800.00	16,800.00
Ayudantes de planta	14,400.00	14,400.00	14,400.00	14,400.00	14,400.00	14,400.00
Equipos de protección personal (EPP básico y específico)	3,600.00	3,600.00	3,600.00	3,600.00	3,600.00	3,600.00
Capacitación en operación de planta	750.00	750.00	750.00	750.00	750.00	750.00
Material informativo (Trípticos)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Videos	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Diapositivas	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Formato de registro de capacitaciones de operación de planta	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Formato de Reporte de fallas en planta	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Formato de Reportes de consumo diario de reactivos	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Formato de control de calidad de reactivos químicos	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Formato verificación de tuberías y válvulas	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Formato verificación y control de procesos semanales	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
<b>TOTAL DE COSTOS</b>	<b>75,714.23</b>	<b>74,514.23</b>	<b>74,514.23</b>	<b>74,514.23</b>	<b>74,514.23</b>	<b>74,502.23</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

**Costos por mantenimiento Correctivo:** Estos costos involucran la reparación realizada normalmente por la empresa, obteniendo un promedio de S/. 2,100.00 anuales por cada electrobomba, según la estimación del jefe del área de planta y control de pérdidas la empresa minera, dicho costo fue determinado por el precedente del cambio de piezas por el deterioro generado del constante uso durante el año, a continuación, se mostrará la Tabla N° 63.

Tabla 63:

*Costos de reparación por mantenimiento correctivo*

<b>Descripción</b>	<b>Número de reparaciones anuales</b>	<b>Total de la reparación anual</b>	<b>Total anual</b>
Reparación de sistema de automatización flocculante	1	1200	1200
Reparación de sistema de automatización ácido clorhídrico	1	950	950
	<b>Total</b>		<b>2150</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

**Costos por no incurrir en la propuesta de mejora:** Los costos involucrados al no contar con un plan de mantenimiento preventivo propuesto mediante esta investigación, generaría costos por la reparación y cambio de piezas con un mayor coste en comparación al cuidado constante de las bombas, a continuación, se mostrará el promedio del costo que se desarrollaría al no contar con la propuesta de mejora, observar Tabla N° 64.

Tabla 64:

*Costos por no incurrir en la propuesta de mejora*

<b>COSTO</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
Reparación de sistema de automatización floculante	1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00
Reparación de sistema de automatización ácido clorhídrico	950.00	950.00	950.00	950.00	950.00
<b>COSTO DE REPARACION POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
<b>TOTAL DE COSTOS</b>	<b>2,150.00</b>	<b>2,150.00</b>	<b>2,150.00</b>	<b>2,150.00</b>	<b>2,150.00</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.7.2. Evaluación Costo – Beneficio: VAN, TIR, IR

Una vez detallados los costos en las tablas anteriores, se procede a realizar el flujo de caja neto obteniendo el VAN, TIR e IR, posterior a la aplicación del diseño de mejora de los diversos procesos de la planta de tratamiento de aguas acidas, a continuación, se mostrará las tablas pertinentes para dichos cálculos, Tabla N° 65 y Tabla N° 66 respectivamente.

Tabla 65:

*Flujo de caja neto*

<b>FLUJO DE CAJA NETO (S/.)</b>						
	<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>	-1,759.80	2,590.10	2,590.10	2,590.10	2,590.10	2,590.10
<b>TASA</b>						<b>9%</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

Tabla 66:

*VAN, TIR, IR*

<b>VAN</b>	<b>S/. 15,174.59</b>
<b>TIR</b>	<b>66%</b>
<b>IR</b>	<b>S/. 7.72</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

Al obtener los indicadores VAN, TIR e IR de la tabla N° 66, se puede afirmar que el VAN es de S/. 15,174.59 lo cual supera considerablemente a 0, lo que lleva a aceptar la propuesta del plan de mantenimiento preventivo mostrado, por otro lado, el TIR dio un resultado de 66% lo cual indica que es favorable, ya que es mayor a la tasa de 9% presente en el flujo de caja neto, demostrando que el plan de mantenimiento preventivo puede ser aceptado, finalmente el IR proporcionó S/. 7.72 lo cual es beneficioso para la empresa, debido a que por cada sol invertido se retornaría S/. 7.72 a la inversión inicial.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

Para la presente investigación persigue como objetivo principal el diseño y mejora del proceso de tratamiento de aguas acidas para mejorar la disposición final en una empresa minera en el norte del Perú; para lograr dicho objetivo se vio necesario analizar la situación actual de los procesos que se realizan en la planta de tratamiento de aguas acidas, en ello se observó y verificó todos los procesos de forma detallada y exhaustiva, buscando encontrar las principales falencias que ocasionan graves problemas en la planta.

En este sentido es que se realiza la búsqueda de problemas dentro de planta, logrando categorizarlos según su nivel de incidencia dentro de la Matriz de Priorización de Problemas, destacando allí los principales problemas que son la causa de las paradas de planta, la obstrucción de tuberías, las fallas de operación, entre otros analizados en ese instrumento tan valioso que arrojó los resultados de la problemática dentro de planta y que afecta principalmente los procesos que allí se realizan.

De la misma manera estos problemas se ven reflejados en la información recabada por la entrevista y encuestas aplicadas a supervisores y operadores, quienes conocen de cerca y viven a diario la problemática de la empresa y tienen que lidiar con ello, pues es parte de su trabajo; y fueron ellos quienes ayudaron a corroborar la información analizada en la Matriz anterior, destacando la situación operacional de la misma, los procedimientos, mecanismos y controles que se manejan, así como las mejoras que se han implementado, pues como se comentó en dicha entrevista, desde que se instauró la planta, las aguas han ido aumentando en la zona debido a la expansión de proyectos mineros, con lo cual se han removido más áreas terrestres y por tanto existe un aumento creciente del nivel de aguas en la zona aledaña a la planta, y para eso se han tomado ciertas medidas de contingencia ante ese aumento y otras estrategias para poder tratar todo el líquido entrante a planta, sobre todo en épocas de

lluvias, todo ello con el fin de respetar la normativa legal y cuidar el medio ambiente responsablemente dentro del área de impacto.

La calidad del efluente tiene un pH de 2.8, el cual está considerado como agua ácida y requiere tratamiento para el vertimiento del efluente a causes o ríos según la normativa vigente (Ministerio Nacional del Ambiente, 2010).

En el caso del tratamiento de aguas acidas, la mayoría de estas se originan de lugares donde se han realizado movimientos de tierras por ampliación de proyectos y por el crecimiento de los tajos mineros, los cuales a medida que se va acarreado mayor cantidad de material de baja ley que es acumulado en espacios abiertos que al tener contacto con el medio ambiente y las lluvias se oxidan, aumentan la generación aguas acidas que son captadas y almacenadas en pozas, para posteriormente recibir el respectivo tratamiento ya en la planta.

Justamente por ello, la inspección del área mediante la observación directa de los procesos de la planta (Flujograma de operación en tratamiento de aguas acidas), busca identificar el mínimo problema dentro de la planta y fuera de la planta, porque existen fases del proceso como es la colección de aguas a través del sistema de pozas que la empresa maneja para este sector, en cuyo sistema ha previsto la reducción de la generación de aguas acidas en los principales puntos, a través de la colocación de geomembranas que separan el agua de lluvia (aguas de no contacto) y de los relaves de depósitos, tajos y otros lugares donde se ha dado la remoción de tierras (aguas de contacto); de esta forma se intenta reducir el aumento de aguas acidas sobre todo en épocas de lluvia, porque como se viene analizando en la presente investigación el aumento de los drenajes ácidos en los años anteriores ha sido creciente, por lo tanto se debe proveer un posible derrame que ocasionaría un desastre natural bastante prejuicioso naturalmente hablando.

Respecto a la capacidad de planta, en el diagnóstico se observa una capacidad de diseño (CD) de 40 l/s y una capacidad extendida o de emergencia (CE) de 60 l/s (Ver Tabla N° 9);

la primera se usa en tiempos normales de lluvias constantes pero bajas, y sobre todo de nivel bajo en la poza de colección principal, tratando a ese ritmo  $3\,456\text{ m}^3/\text{día}$ ; mientras que la segunda capacidad es más usada como su mismo nombre lo indica en tiempos de fuertes y constantes lluvias en la zona, lo cual hace necesario forzar o alterar la capacidad de tratamiento, llegando a tratar  $5\,184\text{ m}^3$  diarios (Ver Tabla N° 11). Lo cual con las mejoras implementadas va aumentar su capacidad de diseño a  $45\text{ l/s}$  con una capacidad para tratar  $3\,888\text{ m}^3$  diarios, con ello ya no se tendría que forzar o alterar la capacidad de planta, puesto que también se propuesto la ampliación de la poza de colección principal en la planta.

Según (Cruz Perea, 2015) indica que diseñar y modelar una planta de tratamiento de agua ácida con el método de neutralización secuencial, es el método ideal y de menos costo, debido al bajo costo de los reactivos (cal apagada). Para los cálculos de tuberías (hidráulico) ha utilizado la herramienta Pipe Dimensión AFT FATHON 7.0, para la determinación de presiones, velocidad en interior de las tuberías y establecer parámetros correctos para el buen funcionamiento del sistema hidráulico.

Además, es por ello que la empresa ha construido pozas de relativo tamaño para hacer frente a la excesiva llegada de agua acida, que como se venía diciendo, por el contacto con las aguas de lluvia suelen aumentar de volumen. Y a este problema le sigue el de que la planta está diseñada para un caudal determinado ( $40\text{ l/s}$ ), y cuando hay entrada de demasiado flujo, se sobre esfuerza a la planta, elevándolo hasta  $55$  ó  $60$  litros por segundo, lo cual implica un problema para la planta, la cual en muchos casos no realiza bien su proceso de tratamiento, pues sobrepasa su capacidad y no concluye el proceso.

Esto último resulta ser un problema de diseño, la planta está diseñada para tratar esa cantidad de caudal y el problema en tiempo de lluvias persiste, ni con la construcción de pozas de contingencia se puede controlar, porque con las lluvias, las aguas suelen arrastrar lodo y

arena, que finalmente termina llenando el fondo de estas pozas de contención para tiempos de emergencia.

En lo concerniente a la operación de planta como bien se puede apreciar en los cálculos realizados, hay una reducción de paradas de planta, ocasionadas por diversos factores dentro de los procesos; pues como ya se había indicado, la operación de planta involucra diversos elementos como mano de obra, insumos, procesos y equipo; entonces el funcionamiento operativo de planta y por mucho mayor tiempo va depender de esos elementos, por tanto se va aprovechar mejor el tiempo por la poca incidencia en fallas diversas que terminan en parada obligatoria de planta.

Si bien es cierto para el cálculo del diagnóstico se verifico en los reportes semanales varias fallas que incurrían en parada (Ver Tabla N° 13), entre ellas las que más perjudican los procesos son las paradas por obstrucción de tuberías y válvulas y las paradas por fallas en operación; haciendo un total de 13 reportes, conllevando un tiempo de parada o retraso del proceso de tratamiento de 15.5 horas por semana, estando la planta operativa solo 152.5 horas semanales, lo que representa un porcentaje de 90.77% del tiempo total de operación que debería estar en funcionamiento semanalmente (168 horas). En cambio, luego de la propuesta de mejora y verificación de reportes, estos disminuyen a 03 por semana, esto representa un promedio de 2.5 horas semanales que la planta incurre en paradas ya sea por temas de operación o por problemas en llaves, válvulas y líneas de dosificación; lo cual significa que de las 168 horas semanales (100%) que debería estar operativa la planta, solo 2.57 horas se paraliza esta y se mantiene operativa 165.43 horas semanales (98.47%).

En cuanto al consumo de reactivos, la empresa minera maneja ratios de consumo de cada uno de ellos (Ver Tablas N° 20 y 21), para no incurrir en gastos excesivos por temas de una mala operación y aparte de ello también daños al medio ambiente por el vertimiento de gran cantidad de químicos en el agua sobre todo de ácidos, los cuales resultan ser bastante

perjudiciales para el medio ambiente y los ecosistemas que los habitan. Ahora bien, para el tratamiento de aguas acidas se suelen usar diversos reactivos como el cloruro férrico, el ácido clorhídrico o también el ácido Sulfámico, el hipoclorito de calcio, la cal, la soda caustica (distinta a la cal), el floculante, el coagulante, entre otros.

Los que más se usan en esta planta normalmente son la cal, el ácido clorhídrico y el floculante. Respecto al consumo de estos reactivos químicos, en cuanto a la cal, de esta se consume aproximadamente dos toneladas diarias (2000 kg) para preparar la lechada y dosificar los tanques de neutralización y oxidación a una proporción de 1.9 kg por cada  $m^3$  tratado de agua acida. Para el caso del ácido clorhídrico se realiza un consumo de 240 l/día, dosificando a una proporción de 16.2 ml por cada  $m^3$  de agua tratada. Y para el caso del floculante, estos vienen del proveedor en sacos de 25 kg, el consumo diario es de aproximadamente un saco de estos (24.84 kg/día), dosificando a una proporción de 156.52 ml/ $m^3$  de agua tratado (Ver Tabla N°19). Por otro lado, para lo propuesta de mejora se incrementó el consumo estos reactivos, puesto que se amplió la planta, la cual al recibir mayor flujo va hacer uso de una mayor cantidad de insumos para tratar un mayor volumen de agua; por ejemplo, en el caso de la cal va consumir casi dos toneladas y media diariamente (2400 kg/día); para el caso del ácido clorhídrico de la misma forma va aumentar a 300 l/día (Ver Tabla N°46).

La producción de drenaje ácido es el principal inconveniente de mina. Cuando los minerales se oxidan forman ácidos sulfúricos, ese proceso es llamado ácido de mina (la pirita es el mineral que genera ácido cuanto tiene contacto con el agua y el aire), tal como indican en su tesis (Espinoza Rodriguez, Hidalgo Millán, & Delgado Delgado, 2016). El objetivo es diseñar una planta de tratamiento mediante un estudio analógico, por medio de pruebas de jarras y resultados de caracterización de aguas ácidas. Considerando así el proceso de lodos

de alta densidad por la eficiencia en su remoción, reactivos a utilizar y por la cantidad reducida de los componentes.

La efectividad es un indicador importantísimo para procesos ya que indica cuan eficientes son estos con respecto a los tiempos de operación, ya que de estos se puede calcular su eficiencia y eficacia, de los cuales se puede obtener la efectividad y ver en qué manera los procesos están agregando valor al conjunto de procesos y además de ello, verificar cuales son los procesos que representan cuellos de botella en todo el proceso de tratamiento de aguas acidas. Para el diagnostico (Ver Tabla N° 22)., luego de verificar los tiempos de los procesos, tanto el tiempo estimado como el tiempo real de cada proceso, se obtuvo los datos para el cálculo, 68.12%, 8.84% y 56.84% de eficacia, eficiencia y efectividad respectivamente lo cual indica primero que ... Pero para la propuesta de mejora se realiza el cálculo de estos indicadores y se obtiene una considerable mejora, ello porque se han reducido los tiempos y se han implementado procesos que le dan una mayor eficiencia a todo el proceso agregándole valor y justamente por eso los porcentajes se han elevado a 86.74%, 32.04% y 68.53% de eficacia, eficiencia y efectividad respectivamente lo cual indica que todos los procedimientos y mejoras agregan valor al proceso general de tratamiento, por ello la planta es eficiente y la efectividad se ubica por encima del 50% de rendimiento total de la planta.

En lo que concierne a los flujos, como ya se venía recalando la planta tiene una capacidad de diseño de 40 l/s, pudiendo tratar diariamente a ese flujo de entrada uno 3 456 m<sup>3</sup>, obtenido 2 937.60 m<sup>3</sup>/día de agua tratada y como diferencia se obtendría 5 118.40 m<sup>3</sup>/día que estaría representada por el lodo y parte del agua acida que no se logra tratar y es recirculada a la poza de colección principal; pero como bien se dejó en claro en el indicador de operación de planta, esta no se mantiene operativa los 365 días del año, pues hay paradas por diversos factores y problemas como también hay paradas por reducción de DAM en la zona por

temporadas de sequía o ausencia de lluvias. Mientras que para la mejora este panorama cambiario totalmente, pues se aumenta su capacidad de planta, así esta podría tratar 45 l/s logrando tratar una mayor cantidad de agua y a la vez evacuar una mayor cantidad de lodos, los cuales según dato se hacen 24 descargas al día (1 por hora) en 20 compresores (Denominados galletas) que están diseñados para filtrar 25 kg cada uno; de esta forma se evacuaría 12 tn diarias de lodo (Ver Tabla N° 25). Pero con la mejora se podría hacer 32 descargas (2 cada tres horas) y así evacuar con las mismas proporciones un promedio de 16 ton diarias, lo cual mejoraría no solo la filtración, sino que ya no habría recirculación y mejora el proceso completo (Ver Tabla N° 50).

Ahora bien, en lo concerniente al nivel de acidez se puede afirmar con firmeza que es uno de los indicadores o parámetros muy importantes en este proceso, pues es a base de medidas numéricas con el pehachímetro que sabemos cuál es la situación del agua de llegada a la planta, pues en muchos de los casos llega con un pH mayor a 2, esto implica una mayor dosificación y consumo de cal para poder subir el nivel de pH hasta 10 u 11, y es a este nivel de pH que actúa el ácido clorhídrico para precipitar los metales también; y además otro dato importante es que el floculante va actuar con su función de precipitar lodos. Y al margen del tema de dosificación, está el conocimiento de los niveles de pH, los cuales van variando según la temporada o estación climática, pues en tiempos de lluvia esa agua acida generalmente tiene un pH más alto, por tanto se va necesitar menos cal; pero en tiempos de sequía, el agua acida se acumula y se torna más densa y por tanto con mayor concentración de metales, por tanto acá se tendrá que utilizar más cal, reactivo más importante para hacer frente a la acidez y levantar el pH del agua acida para precipitar metales y convertirlo en un agua aceptable según los LMP para aguas de mina. Todos estos datos son importantes sobre todo para operación de planta.

Según la tesis de (Medina Quispe, 2018) indicó que para tratar aguas ácidas evaluó varios procesos como los lodos de baja y alta densidad el cual para esta tesis selecciono el de alta densidad (HDS) por ser uno de los procesos más eficientes y de bajo costo en el tratamiento de agua ácida debido al uso cal apagada como neutralizante. De acuerdo a las pruebas de jarra que se realizaron ha logrado elevar y mantener el pH de 2.33 a 8.30 cumpliendo satisfactoriamente los requerimientos de la normativa actual vigente.

El monitoreo de acidez juega un valor importantísimo y es constante en la planta de tratamiento, pues busca controlar el pH de manera que pueda subirlo con la dosificación de lechada de cal y bajarlo con el ácido, para de esta forma, transformar el agua acida en un agua pura y cuasi natural, respetando la normativa peruana vigente (Límites Máximos Permisibles). De acuerdo a esta necesidad, es muy imprescindible que la empresa minera tenga un compromiso, responsabilidad social y ambiental para manejar de manera responsable sus operaciones desde el inicio hasta el cierre de mina.

Siguiendo con el estudio en la tesis de (Montesinos León, 2017) donde indica que, para iniciar todo diseño de tratamiento de agua ácida, primero se debe realizar de manera correcta la caracterización del drenaje ácido de mina y esta depende de la toma de la muestra, ubicación y condiciones ambientales del lugar. Para esta tesis se analizaron muestras de agua de dos (04) fases del proceso de tratamiento de aguas acidas, se utilizaron el método de neutralización secuencial y la de neutralización directa, contemplando así que los sólidos se separan en etapas intermedias, concluyendo que los tratamientos de los efluentes deben realizarse mediante métodos activos (neutralización secuencial) por ser de menor costo, ya que consume menos reactivos, también la calidad del efluente cumple con la normativa vigente, pero se debe realizar monitoreo periódicamente permanente para asegurar el cumplimiento de la normativa.

Respecto a esto, la problemática de la minería respecto a aguas de contacto en la actualidad se ha generado por el impacto social y ambiental con las comunidades campesinas y nativas donde se lleva a cabo esta actividad, y se tienen varias operaciones mineras con grandes pasivos ambientales desde sus inicios de operación hasta la actualidad, contaminando así grandes cantidades de agua y dejando de lado el cuidado del medio. Las aguas ácidas generadas debido a sus productos y/o servicio son potencialmente tóxicas para la vida acuática, flora, vegetación y humana, por su alto contenido de metales disueltos. (Cooper Acción, 2018).

En el desarrollo de la presente investigación, se verificó como una limitación la diversidad de cambios operacionales, mecánicos y climáticos, esto hace difícil obtener un parámetro estable o base, para determinar la cantidad de flujo a tratar y la variación de este de una temporada a otra; otro limitante fue la falta de algún antecedente relacionado con el análisis o mejora de los procesos, por lo que se vio conveniente tomar ciertos ámbitos o procesos para tratar cuantificarlos y buscar alguna directriz en ese sentido, analizando y evaluando procesos, operadores, equipos e insumos que inciden en todo el proceso de tratamiento de aguas acidas; esto a través de la aplicación de encuestas, entrevistas verbales, observación directa y análisis de datos con el fin de recopilar información que pueda ayudar lograr los objetivos de la investigación y plasmarlo en las conclusiones.

De esta manera a partir de la investigación realizada en la planta de tratamiento de aguas acidas, facilitará a futuras investigaciones de esta índole brindándoles una guía para realizar un estudio de trabajo empleando flujograma y diagrama de procesos, diagramas de causa efecto y formatos de control y verificación de procesos, y todo cuanto tiene que ver con la operación y manejo de Plantas de Tratamiento de residuos mineros; aportándoles ayuda también en la toma de decisiones de su investigación que facilitaran la mejora en los procesos

diversos que implican el funcionamiento de un planta y el logro de sus objetivos y metas para la que fue diseñada, construida, puesta en operación.

## 4.2 Conclusiones

Luego de la propuesta del diseño y mejora de los procesos de tratamiento de aguas acidas para mejorar la disposición final de estas aguas en una empresa Minera del norte del Perú, se puede concluir que:

- Se logró diseñar y mejorar el proceso de tratamiento de aguas acidas para mejorar la disposición final, a través del rediseño de procesos, uso de formatos de control y la ampliación de planta; obteniendo con ello la mejora de procesos, reactivos, equipos y aspectos de operación de planta.
- El análisis de la situación actual, diseño y funcionamiento del proceso de tratamiento de aguas acidas para mejorar la disposición final, mediante la aplicación de entrevistas, encuestas, análisis de información y observación directa de los procesos de la planta de tratamiento de aguas acidas, con los que se pudo identificar problemas en diversos puntos del proceso; de ello se verifico que la planta tiene una capacidad normal de 3 456 m<sup>3</sup>/día; un funcionamiento de 152.5 horas/sem; un consumo de reactivos de 2000 kg/día de cal, 240 l/día de HCL y 24.84 kg/día de floculante; una efectividad de 56.49% y el pH agua acida que llega oscila entre 3.5 y 4.
- El diseño de la propuesta de mejora para verificar el proceso de tratamiento de aguas acidas para mejorar la disposición final está basado en el control e inspección de procesos, líneas de dosificación y reactivos químicos que son importantes en el proceso de tratamiento de aguas; mejorando los indicadores de la siguiente manera; en el caso de la capacidad de planta se podrá tratar 432 m<sup>3</sup> más que antes y por un tiempo mucho más extenso por el hecho que se redujeron fallas ganando una operatividad de 13 horas; lo cual llevó consigo el consumo

de una mayor cantidad reactivos químicos en los tres casos; y por lo mismo se logró una mayor efectividad por parte de los procesos de la planta; logrando un agua mejor tratada con menores o nulas proporciones de metales en el agua.

- El análisis económico – financiero de la propuesta de diseño de mejora en el proceso de tratamiento de aguas acidas para mejorar la disposición final, nos permitió un TIR de 146% el cual es mayor a la tasa usada; por tanto, se concluyó la viabilidad del diseño de mejora en esta empresa minera del norte del Perú.

## REFERENCIAS

- Ruiz, M. D. C. C. (2018). *El atractivo turístico de una de las minas de mercurio más importantes del mundo: el Parque Minero de Almadén (Ciudad Real)*. Cuadernos de Turismo, (21), 9-31.
- Pérez, M. M., & Betancur, A. (2016). Impactos ocasionados por el desarrollo de la actividad minera al entorno natural y situación actual de Colombia. *Sociedad y ambiente*, (10), 95-112.
- Cazar Almeida, A. P. (2015). *Recuperación de compuestos de cianuro de aguas residuales proveniente de la extracción del oro, utilizadas como aguas de riego en la zona minera Zaruma-Portovelo* (Bachelor's thesis, Quito: UCE.).
- Pachón Mahecha, C. T. (2014). *Minería sostenible, el reto*.
- Díaz-Arriaga, F. A. (2014). *Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano*. *Revista de Salud Pública*, 16, 947-957.
- Ubeda, J. C. B., Rubio, R. F., & Serrano, J. V. (2018). *Tratamiento de aguas ácidas. Prevención y reducción de la contaminación*. *Macla: revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, (10), 44-47.
- Rosas Blas, R. P., & Carranza Urbina, J. W. (2015). *Estudio técnico para el tratamiento de aguas ácidas en los drenajes de la industria minera*.
- Kirschbaum, A., & Murray, J. (2011). *Minería y aguas ácidas: contaminación y prevención*. *Temas de Biología y Geología del NOA*, 1(1), 40-51.
- Quispe, I. D., & Illesca Chávez, M. G. (2009). *Proceso de neutralización con soda caustica como un método alternativo de tratamiento de aguas acidas para incrementar la calidad de agua en la Compañía Minera Cascaminas SA*.
- Mamani Chipana, W. (2019). *Caracterización y tratamiento de efluentes de aguas ácidas en la mina*. Universidad Nacional del Altiplano. La Rinconada-Puno.

- Herrera, H. P. (2013). Los pasivos mineros ambientales y los conflictos sociales en Hualgayoc. *Investigaciones sociales*, 17(30), 265-277.
- López Goicochea, J. W. (2013). Tratamiento de aguas ácidas provenientes del Pad de lixiviación con naoh-almidón; en Cía. Minera Sipán S.A.C, durante cierre ambiental. Distrito de Llapa, Cajamarca, Perú, 2011-2012.
- Choque Gonza, Y. (2020). Anteproyecto de mejoramiento y ampliación de la planta de tratamiento de agua de drenaje ácido de mina para la Unidad Minera Coimolache, en el Distrito de Hualgayoc, Provincia de Hualgayoc, Departamento de Cajamarca
- Mego Estela, E. (2016). Evaluación de la oxidación química con el peróxido de hidrógeno y ósmosis inversa en el tratamiento de efluentes de Minera Coimolache.
- Leyva Cojal, W. (2018). Implementación de un equipo deshidratador de lodos para reducir costos en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, Minera Coimolache SA 2017 (Tesis Parcial).
- Ahumada Melendez, J. L., & Benites Horna, R. M. (2019). Diseño de una planta de tratamiento de agua ácida, para los drenajes ácidos de mina en el distrito de Huamachuco, Provincia de Sánchez Carrión.
- Aduvire, O. (2018). Dimensionado de sistemas de tratamiento de aguas acidas de mina. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, (5), 1-11.
- Jimenez Huallpa, C. C. (2017). Eficiencia en la remoción del tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con lechada de cal de la Unidad Minera Arasi–Puno.
- Rosas Blas, R. P., & Carranza Urbina, J. W. (2015). Estudio técnico para el tratamiento de aguas ácidas en los drenajes de la industria minera.

## ANEXOS

### Anexo 01: Cuestionario de preguntas<sup>1</sup>

#### I. Entrevista dirigida al Superintendente de Planta

1. ¿Cómo está la situación operacional actual en el área de Tratamiento de aguas?
2. ¿Cuáles son los procesos básicos que la empresa maneja en el tratamiento de aguas en general?
3. ¿Cuáles son los procesos o mecanismos que se usan para el tratamiento de aguas acidas?
4. ¿Qué mejoras se han implementado en la Planta de Tratamiento de Aguas Acidas – PTAA - CN?
5. ¿Qué debilidades o dificultades se presentan frecuentemente en la empresa e influyen en el proceso de tratamiento de aguas acidas?
6. ¿Conoces cuáles son los indicadores relevantes para mejorar los procesos de tratamientos de aguas?
- 7.. ¿Dentro de todos los procesos que realiza la planta, cual es el más importante, sin el cual la planta tendría que parar inmediatamente?

#### II. Entrevista dirigida a supervisores y operadores de planta (De empresa contratista)

1. ¿En qué influye la mejora de procesos para el tratamiento de aguas acidas en vuestra empresa?
2. ¿Cuáles son los problemas climáticos más frecuentes en las plantas de tratamientos de aguas?
3. ¿Cuáles son las fallas operacionales más frecuentes en la planta de tratamiento de aguas ácidas?
4. ¿Cuáles son las políticas de tratamiento de aguas aplicadas en la PTAA?
5. ¿A su criterio, qué mejoras se pueden implementar para los procesos de tratamientos de aguas?

---

<sup>1</sup> ENTREVISTA (Instrumento 1) y ENCUESTA (Instrumento 2): Se tomaron de las fuentes de investigación y se complementó con aspectos de mejora y adecuación propios de la investigación en curso (Cf. Mamani, 2019).

6. ¿Cuáles son los reactivos más importantes para el tratamiento de aguas acidas y que inciden para una mejor disposición final?
7. ¿Cómo se puede obtener un agua tratada de mejor calidad? Desde tu experiencia. ¿Consideras que falta algo a todo el proceso?

### **Anexo 02: Hoja de encuestas Guía de la encuesta**

I. Encuesta al personal de planta de tratamiento de aguas acidas de la empresa Minera.

A continuación, se le presentan una serie de preguntas:

1. ¿Es importante la existencia de una planta de tratamiento de aguas dentro de las operaciones de la empresa?  
a) Si      b) No
2. La planta ¿Cumple las expectativas para las que fue instalada?  
a) Si      b) No
3. ¿Conoces la totalidad de los procesos de la planta?  
a) Si      b) No
4. ¿Consideras la experiencia laboral en este rubro como un factor de calidad en el tratamiento?  
a) Si      b) No
5. ¿Existen falencias en el tratamiento de aguas acidas diariamente?  
a) Si      b) No
6. ¿El agua que trata la planta es un agua de calidad?  
a) Si      b) No
7. ¿Existen procesos que se pueden omitir en la planta?  
a) Si      b) No
8. Los reactivos químicos que se usan ¿Siempre cumplen con su función?  
a) Si      b) No
9. Todos los elementos de la planta ¿funcionan a cabalidad?  
a) Si      b) No
10. ¿Consideras que se pueden implementar mejoras en la planta?  
a) Si      b) No

### Anexo 03: Guía de Observación directa

Nombre de la Entidad	EMPRESA MINERA
Nombre del Supervisor	XXX
Nombre del Operador	XXX
Área en Análisis	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS
Nombre del Evaluador	ALEX SILVA SILVA

**INSTRUCCIONES:** Observar si la ejecución de las actividades marcando con una (X) el cumplimiento de acuerdo con la escala establecida (Si, No, Tal vez)

**OBJETIVO:** Observar y evaluar el desempeño realizado en los procesos de la planta de tratamiento de aguas acidas.

N°	ASPECTO A EVALUAR	SI	NO	TAL VEZ	OBSERVACIONES
1	Llega a tiempo a planta				
2	Verifica que su área de trabajo esté limpia y ordenada				
3	Cumple con el EPP exigido				
4	Elabora sus actividades en tiempo y forma				
5	Ejerce buen comportamiento en el grupo de trabajo				
6	Verifica que sus equipos funcionen correctamente				
7	El espacio donde trabaja es el adecuado				
8	Elabora sus informes de Reportes y consumos diarios				
9	Cumple con la secuencia de procesos				
10	Reporta a tiempo problemas en planta				

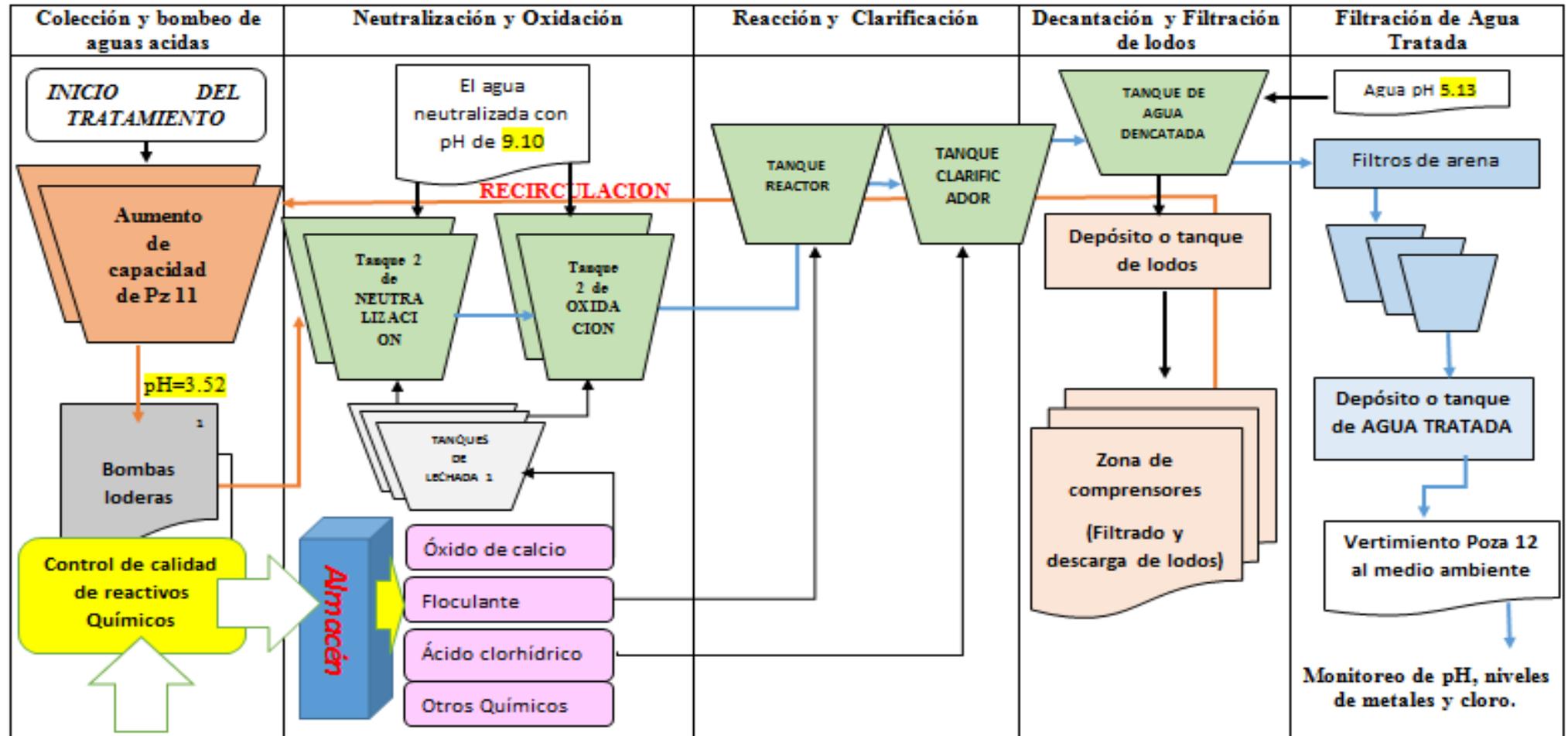
**Fuente:** Elaboración Propia

#### Anexo 04: Matriz de Consistencia

<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>				
<b>PROBLEMAS</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>METODOLOGÍA</b>
<b>1. Problema</b>	<b>1. Objetivo</b>	<b>1. Hipótesis</b>	<b>Variable</b>	Tipo de investigación:
<b>General:</b>	<b>General</b>	<b>General</b>	<b>independiente:</b>	Descriptiva.
<b>¿En qué medida se logrará diseñar y mejorar el proceso de tratamiento de aguas acidas para la disposición para la disposición final en una empresa minera en el norte del Perú, 2020?</b>	Diseñar y mejorar el proceso de tratamiento de aguas acidas para la disposición final en una empresa minera en el norte del Perú, 2020.	El diseño y mejora del proceso de tratamiento de aguas acidas para la disposición final en una empresa minera en el norte del Perú, 2020.	Diseño de mejora en el proceso de tratamiento de aguas acidas  <b>Variable dependiente:</b>  Disposición final	Técnicas e instrumentos: Entrevista (Guía de entrevista, Cámara fotográfica y de video), Encuesta (Encuestas, lapiceros y porta documentos) y Observación Directa (Cámara fotográfica y de video, cuaderno y lapiceros).

**Fuente:** Elaboración Propia

Anexo 05: Rediseño y mejora del flujograma de procesos



Fuente: Elaboración Propia

**Anexo 06: Formato para verificación de válvulas y tuberías.**

Logo de la empresa	FORMATO PARA LA VERIFICACION DE LINEAS Y VALVULAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS				
Area:			Fecha:		
Nivel:			Turno: Día:		
Supervisor:			Noche:		
Operador/Ayudante:					
Actividad:					
Empresa:					
CHECK LIST DE EVALUACION DE ESTADO DE TUBERIAS Y VALVULAS					
N°	Aspectos a Evaluar (*Especificar el punto)	SI	NO	Nivel de Criticidad	
				Alto	Bajo
1	La líneas de cal funcionan a la correctamente				
2	Las líneas de dosificación de acido estan en buen estado				
3	Las líneas de dosificación de floculante están en buen estado				
4	Existe alguna válvula en mal estado fisico				
5	Existen válvulas que no giran				
6	Se perciben ruidos en las tuberías				
7	Las válvulas hacen conntrapresión				
8	Se perciben movimintos bruscos en tuberías				
9	Existen líneas abandonadas desde hace tiempo				
10	Existen válvulas oxidadas				
<p><b>NOTAS:</b> *Los aspectos que necesitan atención inmediata tendran nivel de criticidad Alto            *Si el nivel es Alto, el aspecto se informara a supervisión a través de un Reporte de Operación            *Si no hay una respuesta inmediata o rápida, el operador esta obligado a parar planta.</p>					
Firma del Operador			Firma del Supervisor		

**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 07: Formato para la elaboración de reportes diarios.**

Logo de la empresa	FORMATO DE REPORTES DE FALLA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS				
<b>Area:</b>				<b>Fecha:</b>	
<b>Nivel:</b>				<b>Turno:</b> Día:	
<b>Supervisor:</b>				Noche:	
<b>Operador/Ayudante:</b>				<b>Codigo:</b>	
<b>Actividad:</b>					
<b>Empresa:</b>					
N°	Relación de fallas diarias	Nivel de Criticidad			Tiempo
		Alto	Medio	Bajo	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
<p><b>NOTAS:</b> Los supervisores de turno enviaron estos reportes semanalmente a Gerencia de Mina Si la falla es de criticidad alta se enviara el reporte al área de mantenimiento preventivo</p>					
<b>Firma del Operador</b>				<b>Firma del Supervisor</b>	

**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 08: Formato Reportes de consumo diario de reactivos.**

Logo de la empresa		FORMATO DE REPORTES DE CONSUMOS DE REACTIVOS QUIMICOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO				
Area:				Fecha:		
Nivel:				Turno: Dia: <input type="checkbox"/>		
Supervisor:				Noche: <input type="checkbox"/>		
Operador:				Codigo:		
Actividad:						
Empresa:						
N°	Reactivo Quimico	Dosificación	Cantidad	Reactividad Observada		
				Buena	Regular	Mala
1	OXIDO DE CALCIO:					
	Observaciones:					
2	ACIDO CLORHIDRICO:					
	Observaciones:					
3	POLIMERO O FLOCULANTE:					
	Observaciones:					
4	OTROS INSUMOS					
	Observaciones:					
Observaciones importantes de operacion:						
Firma del Operador				Firma del Supervisor		

Fuente: Elaboración Propia

**Anexo 09: Formato de control de calidad de los reactivos químicos.**

Logo de la empresa		FORMATO DE CONTROL DE CALIDAD DE REACTIVOS QUIMICOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS					
Area:				Fecha:			
Nivel:				Turno: Dia: <input type="checkbox"/>			
Supervisor:				Noche: <input type="checkbox"/>			
Operador/Ayudante:				Codigo:			
Actividad:							
Empresa:							
N°	Reactivo Quimico	Detalles del examen de laboratorio/Calidad	Observacion	Resultados de Calidad			
				Buena	Regular	Mala	
1	Oxido de Calcio:						
Recibido							<input type="checkbox"/>
Almacenado							<input type="checkbox"/>
2	Acido Clorhídrico:						
Recibido							<input type="checkbox"/>
Almacenado							<input type="checkbox"/>
3	Polímero o Floculante:						
Recibido							<input type="checkbox"/>
Almacenado							<input type="checkbox"/>
Observaciones importantes de calidad:							
Firma del Operador				Firma del Supervisor			

**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 10: Formato para verificación y el control de procesos.**

Logo de la empresa	FORMATO PARA LA VERIFICACION Y EL CONTROL DE PROCESOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS				
Area:			Fecha:		
Nivel:			Turno: Día: <input type="checkbox"/>		
Supervisor:			Noche: <input type="checkbox"/>		
Operador:			Código:		
Actividad:					
Empresa:					
N°	Procesos a Evaluar	Se Cumple		Presenta Dificultade	
		SI	NO	SI	NO
1	Descarga de Reactivos químicos				
2	Control de calidad de reactivos químicos				
3	Almacenaje de reactivos				
4	Preparación de lechada de cal				
5	Preparación de solución de floculante				
6	Bombeo de agua acida (Pz - 111 )				
7	Control flujo de entrada (Flujómetro)				
8	Control de pH				
9	Mezclado de agua acida y lechada de cal (Neutralización)				
10	Control de pH				
11	Mezclado de agua Neutralizada y lechada de cal (Oxidación)				
12	Mezclado con solución de floculante (Reacción)				
13	Mezclado con Acido clorhídrico (Clarificación)				
14	Toma de muestras				
15	Carga para filtración de lodos				
16	Descarga de lodos comprimidos				
17	Filtración de lodos				
18	Control de pH				
19	Filtración de agua tratada (Filtro de arena)				
20	Control de pH				
21	Control flujo de salida (Flujómetro)				
<b>Indicacion:</b> Marcar con un aspta (x) en la fila que corresponda, según el cumplimiento de los procesos o la dificultad que haya en alguno de los mismos					
Firma del Operador			Firma del Supervisor		

**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 11: Formato control y registro de capacitaciones de operación.**

Logo de la empresa		FORMATO DE CONTROL DE CAPACITACIONES DE OPERACIÓN DE PLANTA		
Area:		Fecha:		
Nivel:		Turno:	Dia:	<input type="text"/>
Supervisor:		Noche: <input type="text"/>		
Participantes:		Firma		Firma
1		5		
2		6		
3		7		
4		8		
Nº	LUGAR	FECHA	DURACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA CAPACITACIÓN
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
_____ Supervisor Operativo		_____ Jefe de Planta		_____ Capacitador

**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 12:** Situación de la poza de colección principal por el no uso de bombas loderas y también por falta de pozas de sedimentación de lodo primarias.



**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 13:** Técnica de la impermeabilización con geomembranas para reducir la generación de agua de contacto que finalmente constituye el agua acida.



**Fuente:** Elaboración Propia

Anexo 14: **Generación y aumento del volumen de aguas acidas durante las lluvias**



**Fuente:** Elaboración Propia



**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 15:** Visita y toma de muestras de nivel de acidez en los puntos de origen de aguas  
acidicas (Vista de Deposito de material estéril - DME).



**Fuen: Fuente:** Elaboración Propia



Elaboración **Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 16:** Vista de la planta de tratamiento de aguas acidas (PTAAA)



**Fuente:** Elaboración Propia



**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 17:** Toma de muestras para determinar acidez del agua, nivel de metales y niveles de cloro..



**Fuente:** Elaboración Propia



**Fuente:** Elaboración Propia

Anexo 18: **Toma de muestras para determinar acidez del agua, nivel de metales y niveles de cloro**



**Fuente:** Elaboración Propia



**Fuente:** Elaboración Propia

**Anexo 19:** Sistema de pozas que coleccionan el agua de contacto y bombean agua acida a la poza principal de coleccion que alimenta la planta de tratamiento de aguas acidas.



**Fuente:** Elaboración Propia